

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA

Hasil pengujian komposisi kimia material AC8H yang digunakan untuk pembuatan piston setelah ditambahkan *modifier* stronsium maupun fosfor serta material AC8H yang akan melalui proses perlakuan panas ditampilkan pada Tabel 4.1, sedangkan data hasil pengujian laboratorium PT. X terdapat pada lampiran 1. Pengujian komposisi kimia dengan menggunakan spektrometer dilakukan sebelum proses pengecoran, dimana AC8H masih dalam bentuk *molten metal* dituang pada cetakan uji komposisi kimia.

Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi kimia material AC8H+Sr , AC8H+P dan AC8H (Perlakuan Panas)

UNSUR PADUAN	STD AC8H	Sr (0%)	Sr (0.0075%)	Sr (0.015%)	Sr (0.03%)	P (0%)	P (0.003%)	P (0.004%)	P (0.005%)	(PERLAKUAN PANAS)
Cu	2.4 ~ 3.5	2.82	2.84	2.78	2.8	2.76	2.76	2.63	2.63	2.96
Si	10.5 ~ 11.5	11.45	11.51	11.18	11.54	11.59	11.85	11.39	11.31	11.34
Mg	0.7 ~ 1.3	0.77	0.84	0.78	0.78	1.04	1.044	0.99	0.98	1
Zn	0 ~ 0.1	0.016	0.002	0.023	0.02	0.001	0.001	0.005	0.003	0.02
Fe	0.05 ~ 0.4	0.288	0.282	0.278	0.281	0.167	0.171	0.16	0.166	0.16
Mn	0 ~ 0.1	0.032	0.034	0.03	0.032	0.016	0.017	0.015	0.015	0.023
Ni	0 ~ 0.1	0.018	0.016	0.016	0.017	0.0094	0.0095	0.0086	0.0087	0.079
Ti	0.2 ~ 0.3	0.171	0.175	0.159	0.177	0.23	0.24	0.24	0.22	0.23
Pb	0 ~ 0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.033
Sn	0 ~ 0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
Cr	0 ~ 0.5	0.0078	0.0068	0.006	0.0077	-	-	-	-	0.01
P		0.004	0.004	0.004	0.005	0.0036	0.0038	0.0041	0.0046	-
Sr		0.00072	0.0068	0.0133	0.031	0.0003	0.0002	0.0004	0.0004	-
TARGET (%)		0	0.0075	0.015	0.03	0	0.003	0.004	0.005	-

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa hasil pengujian komposisi kimia material Aluminium AC8H baik yang ditambahkan *modifier* Stronsium atau Fosfor serta yang akan melalui proses perlakuan panas masuk dalam toleransi standar material Aluminium AC8H . Sebagai tambahan, khusus untuk unsur Silikon pada standar AC8H masih terdapat toleransi 0,35% terhadap nilai batas atas dan bawah^[2]. Nilai kandungan Silikon material tersebut antara 11,18 – 11,85 % yang berarti kondisi material paduan Aluminium AC8H ini berada pada kondisi eutektik , dimana paduan Al-Si eutektik mempunyai kandungan silikon 11-13%^[12] .

Pada penambahan *modifier* Stronsium, kandungan Stronsium yang didapat hampir sesuai dengan yang direncanakan dimana kandungan Stronsium yang didapat adalah 0,0068 % untuk penambahan 0,0075% Sr , 0,0133 % untuk penambahan 0,015% Sr dan 0,031 % untuk penambahan 0,03% Sr. Pada sampel tanpa penambahan Stronsium ternyata pada sampel itu sendiri sudah terdapat kandungan stronsium sebesar 0,00072 % . Secara umum penyimpangan kandungan Stronsium pada setiap sampel hanya sekitar 0,0001 % - 0,00072% atau sekitar 1 ppm sampai 7,2 ppm.

Hasil pengujian komposisi kimia untuk penambahan *modifier* Fosfor terdapat beberapa penyimpangan dari rencana awal, dimana kandungan Fosfor yang didapat adalah 0,0036% untuk penambahan 0% P, 0,0038% untuk penambahan 0,003% P , 0,0041% untuk penambahan 0,004% P dan 0,0046% untuk penambahan 0,005% P. Perbedaan jumlah Fosfor yang ditambahkan dengan hasil yang didapat disebabkan pada saat proses *mixing* yang kurang sempurna. Fosfor yang digunakan pada penelitian ini adalah berbentuk *flux* atau serbuk, sehingga ketika proses penambahan Fosfor serbuk tersebut cenderung mengapung pada permukaan lelehan logam dan tidak bercampur secara keseluruhan.

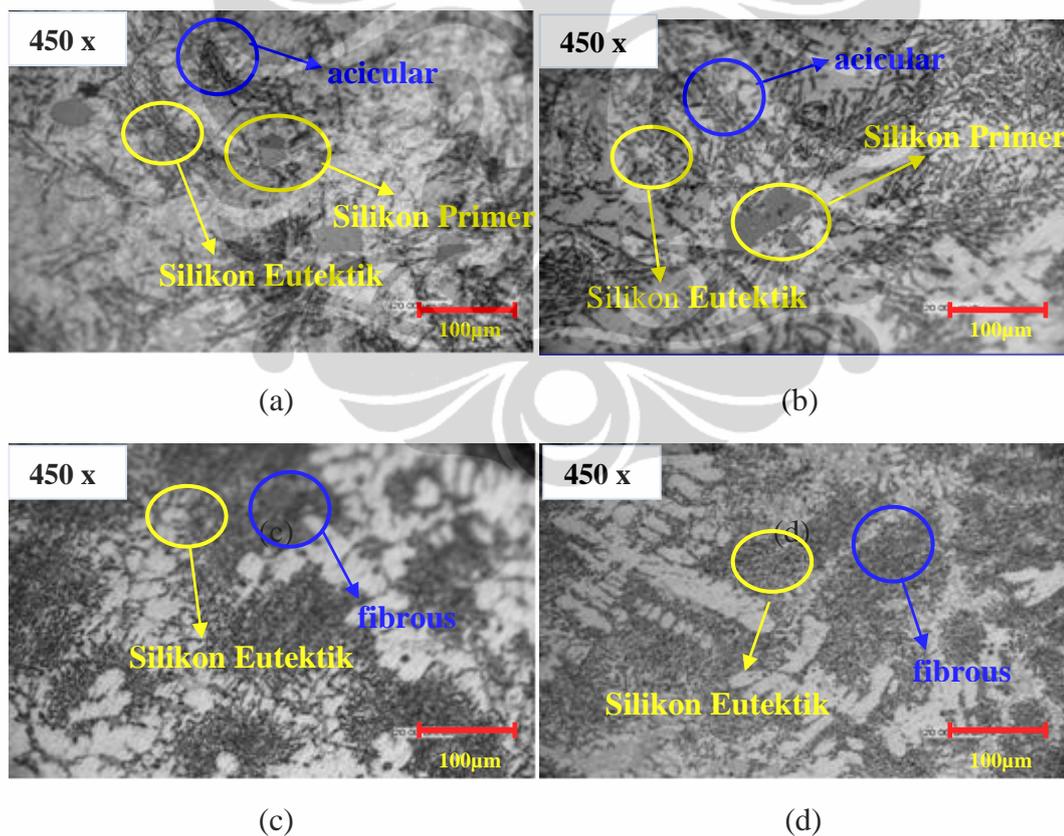
Terdapatnya sejumlah Stronsium dan Fosfor pada *master alloy* ini bisa saja terjadi, hal ini dapat diakibatkan oleh kontaminasi dari binder fosfat dan mortar yang terdapat pada refraktori *furnace* dan juga sisa-sisa *scrap* yang menempel pada refraktori^[21].

4.2 PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DENGAN MIKROSKOP OPTIK

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan mikrostruktur yang terjadi akibat penambahan *modifier* stronsium atau fosfor dan perubahan mikrostruktur perlakuan panas T4 (*natural ageing*) dengan rentang waktu dari 0 – 120 jam dan T6 (*artificial ageing*). Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan bantuan alat mikroskop optik digital dengan perbesaran 450x dan 1000x. Pada paduan Al-Si terdapat dua fasa yang sangat menentukan sifat mekanis, yaitu silikon eutektik dan silikon primer.

4.2.1 Pengaruh penambahan *Modifier* Stronsium terhadap Struktur Mikro.

Hasil pengamatan struktur mikro pada sampel dengan penambahan *modifier* Stronsium dengan perbesaran 450 X, dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Perubahan bentuk struktur mikro dengan kandungan Stronsium (a) 0,00072% Sr (b) 0,0068 % Sr (c) 0,0133% Sr (d) 0,031 % Sr

Secara umum hasil penelitian menunjukkan, bertambahnya kandungan stronsium pada paduan aluminium AC8H membuat bentuk silikon eutektik berubah dari *acicular* menjadi bentuk *fibrous*. Perubahan itu dapat dilihat dengan membandingkan bentuk silikon eutektik sebelum (Gambar 4.1a) dan sesudah penambahan Stronsium (Gambar 4.1 b, 4.1c dan 4.1d). Sebelum penambahan stronsium, silikon eutektik terlihat jelas berbentuk *acicular* (bentuk memanjang), sedangkan setelah ditambahkan stronsium, silikon eutektik berbentuk *fibrous* (bentuk bulat).

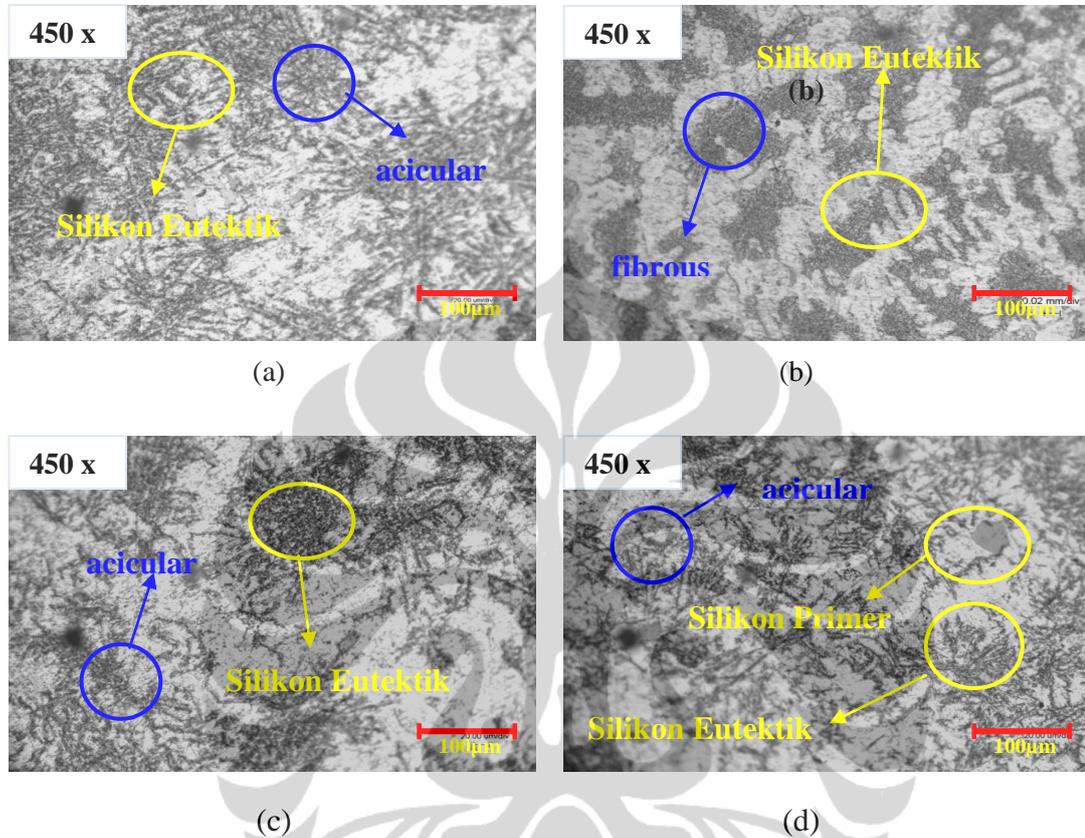
Bentuk silikon eutektik menjadi lebih halus pada kandungan Stronsium dengan kadar yang lebih tinggi. Penghalusan silikon eutektik dapat dilihat dengan membandingkan gambar mikrostruktur dari sampel dengan kandungan 0,0068% Sr (Gambar 4.1b) dengan yang kandungan 0,0133% Sr dan 0,031% Sr (Gambar 4.1c dan 4.1d). Penelitian yang ada menunjukkan bahwa penambahan Stronsium pada paduan Al-Si eutektik merubah bentuk silikon eutektik yang berbentuk *acicular* menjadi bentuk *fibrous*^[2].

Penambahan Stronsium terhadap bentuk silikon primer tidak terlalu dominan pada mikrostruktur mengingat kandungan Silikon yang tidak terlalu tinggi sekitar 11,1-11,8 %. Penambahan Stronsium ternyata memperkasar silikon primer yang terbentuk, hal ini dapat dilihat dengan membandingkan sampel dengan kandungan 0,00072% Sr dan 0,0068% Sr (Gambar 4.1a dan 4.1b). Pada paduan dengan kandungan 0,0133 % Sr dan 0,031% Sr tidak terlihat adanya silikon primer, sehingga gambar mikrostruktur ini tidak digunakan untuk membandingkan ukuran silikon primer yang terbentuk.

Bentuk silikon primer yang berbeda pada paduan aluminium AC8H dengan variabel kandungan stronsium disebabkan karena beberapa hal , antara lain : perbedaan gradien temperatur saat pembekuan , munculnya *nucleating agent* , jumlah *modifier* yang dipakai dan adanya *impurities*^[20].

4.2.2 Pengaruh penambahan *Modifier Phospor* terhadap Struktur Mikro

Hasil pengamatan struktur mikro pada sampel dengan penambahan *modifier Phospor* dengan perbesaran 450 X , dapat dilihat pada Gambar 4.2



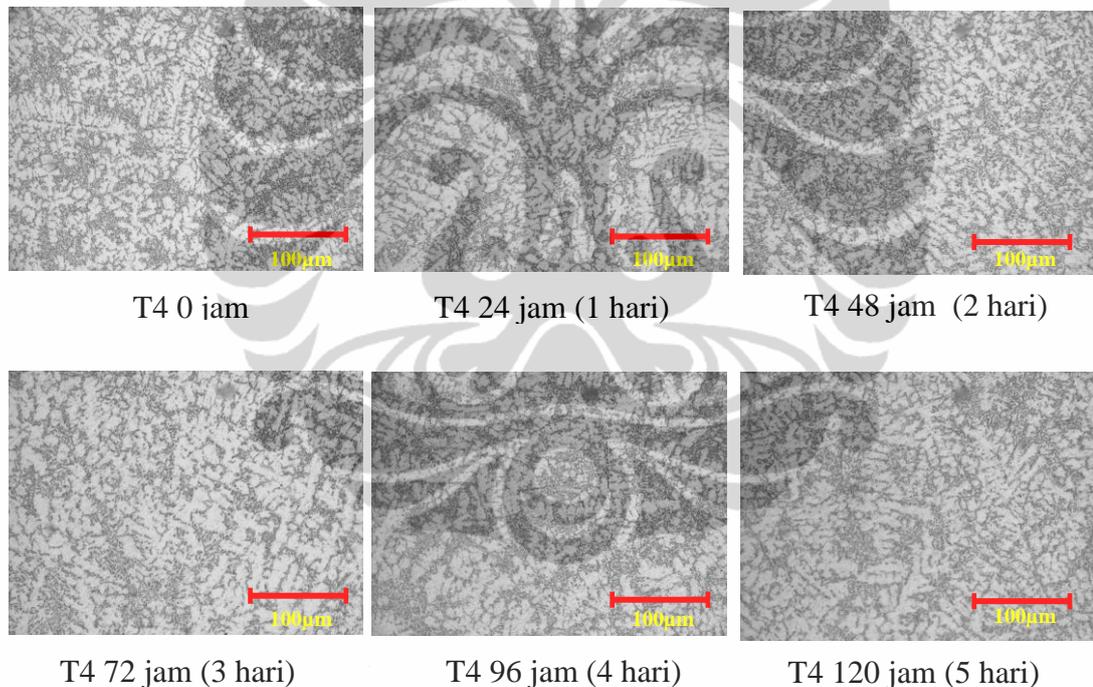
Gambar 4.2 Perubahan bentuk struktur mikro dengan kandungan Phospor (a) 0,0036% P (b) 0,0038% P (c) 0.0041% P (d) 0.0046% P

Pada pengamatan struktur mikro , terlihat adanya perubahan bentuk dari silikon eutektik. Pada kandungan 0,0036% P (Gambar 4.2a) silikon eutektik yang terbentuk berupa jarum-jarum tajam dengan ukuran yang kecil dan saling berhubungan satu sama lainnya. Pada kandungan 0,0038 % P (Gambar 4.2 b) , terlihat perubahan yang sangat jelas dimana struktur silikon eutektik sangat halus yang berbentuk seperti *fibrous* . Berbagai studi menunjukkan bahwa penambahan fosfor akan meningkatkan jumlah inti dari silikon eutektik , sehingga akan dihasilkan struktur silikon yang halus^[22].

Pada kandungan 0,0041 % P, bentuk struktur silikon eutektik tersebut berubah kembali menjadi jarum-jarum kasar dengan sedikit terlihat seperti bentuk *fibrous* pada bagian tertentu (Gambar 4.2 c). Hal ini memperlihatkan adanya

mekanisme pertumbuhan pada silikon eutektik akibat penambahan fosfor dari sampel sebelumnya. Hal ini , dapat diasumsikan bahwa jumlah fosfor tersebut sudah melebihi batas optimal (*over refinement*) sehingga proses pengintian terhambat dan terjadi mekanisme pertumbuhan silikon eutektik^[2]. Sampel dengan kandungan 0,0046 % P, mempunyai bentuk struktur silikon eutektik yang sama dengan kandungan 0,0041% P. Perbedaannya pada kandungan 0,0046% P bentuk silikon eutektik lebih tajam dan mulai terlihat munculnya beberapa silikon primer , kondisi ini menunjukkan terjadinya mekanisme pertumbuhan yang semakin meningkat seiring dengan penambahan fosfor (*over refinement*).

4.2.3 Pengaruh Proses Perlakuan Panas T4 terhadap Struktur Mikro

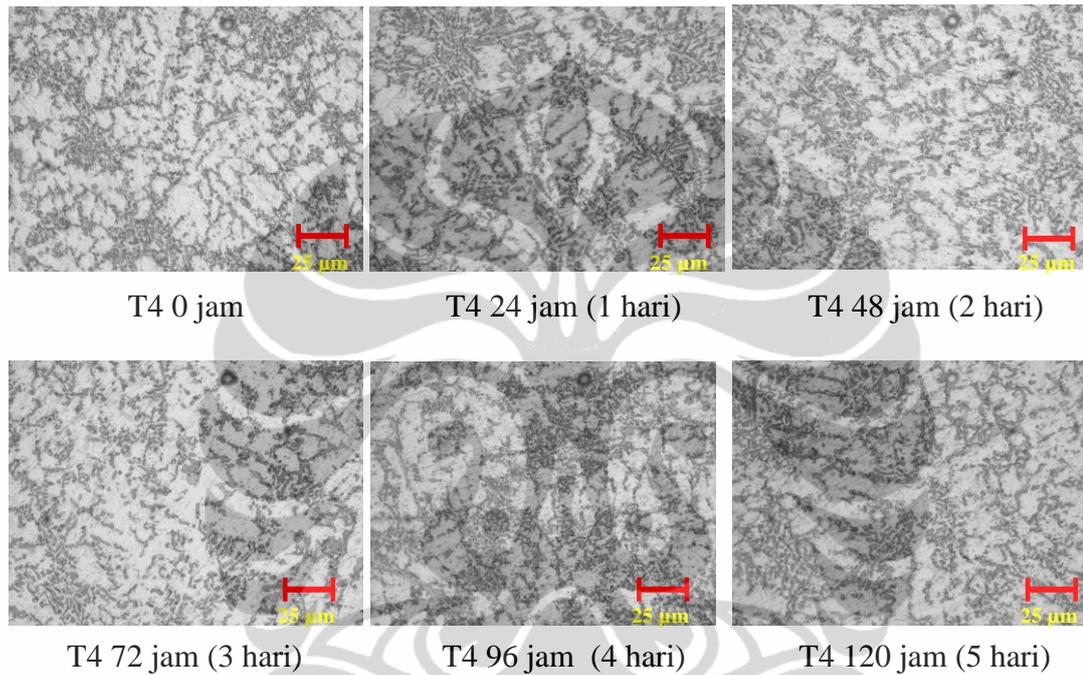


Gambar 4.3 Foto mikrostruktur sampel T4 perbesaran 450 X mulai 0 jam sampai 120 jam

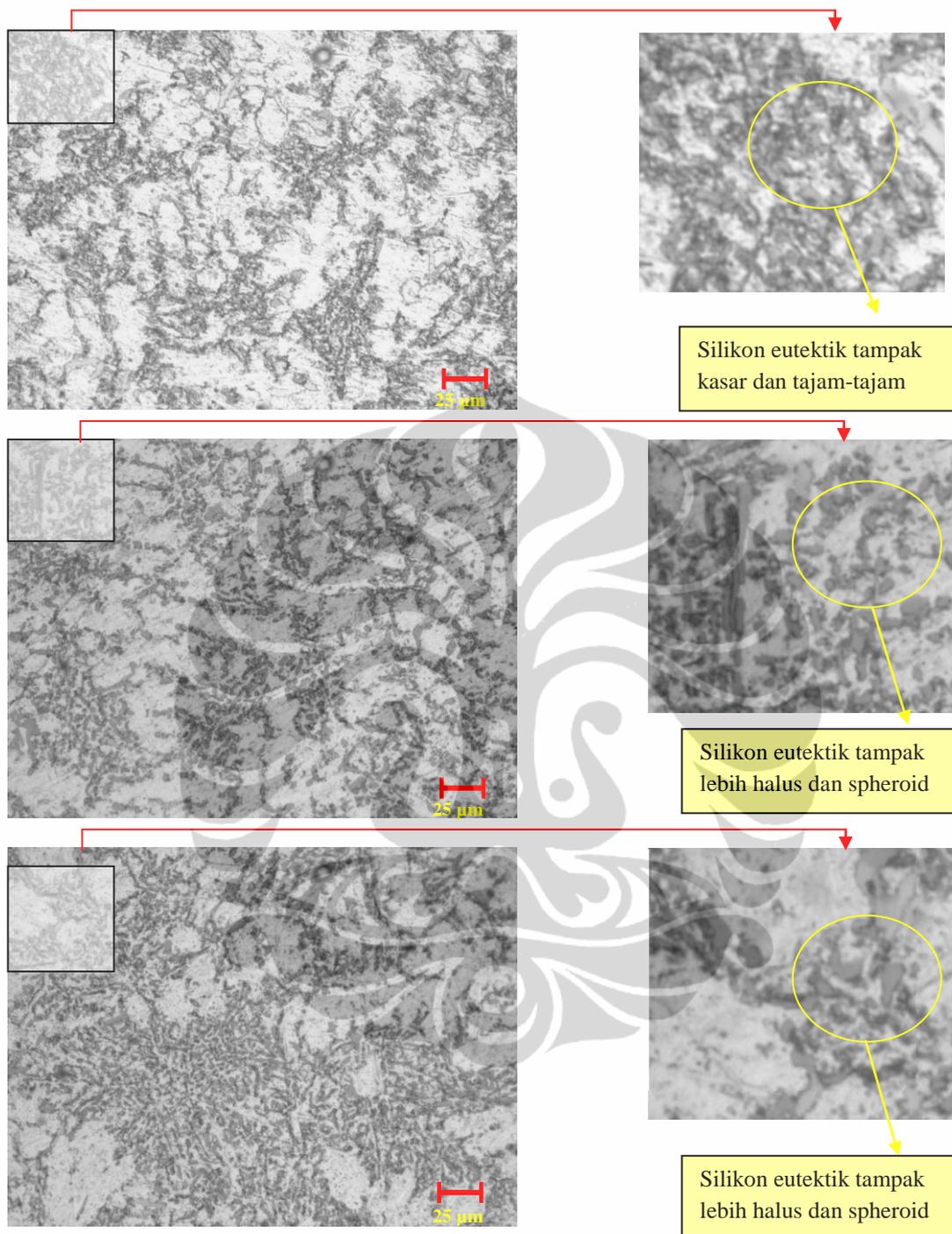
Pada gambar 4.3 dapat dilihat foto mikrostruktur sampel T4 perbesaran 450 X dengan waktu tahan mulai 0 jam sampai 120 jam tidak mengalami perubahan mikrostruktur, hal ini dikarenakan proses *natural ageing* (T4) merupakan proses pembentukan dari presipitat yang terdispersi secara merata

selama proses *ageing* sedangkan kita tahu bahwa presipitat dapat dianalisa ataupun terlihat dengan menggunakan SEM, TEM, ataupun dengan EDS.

Hal yang sama juga terjadi pada foto mikrostruktur sampel T4 perbesaran 1000 X dengan etsa HF 0,5 % mulai 0 jam sampai 120 jam, yaitu tidak menunjukkan adanya perubahan mikrostruktur dengan alasan yang sama seperti ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah.



Gambar 4.4 Foto mikrostruktur sampel T4 perbesaran 1000 X mulai 0 jam sampai 120 jam



Gambar 4.5 Hasil dan analisa mikrostruktur perbandingan sampel *as cast*, T4, dan T6 dengan perbesaran 1000 X

Berdasarkan gambar 4.5 terlihat bahwa mikrostruktur *as cast* perbesaran 1000 X memiliki silikon eutektik yang lebih tajam seperti jarum dan kasar, sedangkan mikrostruktur sampel T4 (*natural ageing*) setelah 96 jam dengan

temperatur *ageing* 25° C dan sampel T6 (*artificial ageing*) dengan temperatur *ageing* 230° C terlihat mirip dengan silikon eutektik yang lebih halus dan berbentuk *spheroid*. Perubahan fasa silikon eutektik tersebut berpengaruh pada kekerasan , keausan, kekuatan tarik dan *elongation* material AC8H.

4.3 PENGUJIAN KEKERASAN

Pengujian ini dilakukan pada 5 titik yang berbeda untuk setiap sampel. Sampel yang digunakan untuk pengujian kekerasan merupakan sampel yang sama dengan yang digunakan untuk pengujian mikrostruktur, masing masing variabel mempunyai 3 sampel. Uji kekerasan dilakukan pada sampel penelitian penambahan modifier , perlakuan panas T4 dan sampel T6 yang merupakan standard requirement dari part piston. Proses pengujian dengan menggunakan metode *Hardnes Rockwell -B* (dengan indenter bola baja berdiameter 1/16 inch dan beban 100 kg) sesuai standar pengujian E-18^[26], adapun data hasil pengujian kekerasan yang dilakukan di laboratorium PT.X terdapat pada lampiran 2.

4.3.1 Pengaruh Proses Perlakuan Panas T6 terhadap Kekerasan

Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan perlakuan panas T6

No	Sampel	Titik					Kekerasan (HRB)
		1	2	3	4	5	
1	T6	64,3	66,3	62,1	60,9	68,2	64,36
2	T6	63,1	62,5	64,5	66,4	63,7	64,04
3	T6	63,1	61,5	65,9	62,7	67,4	64,12

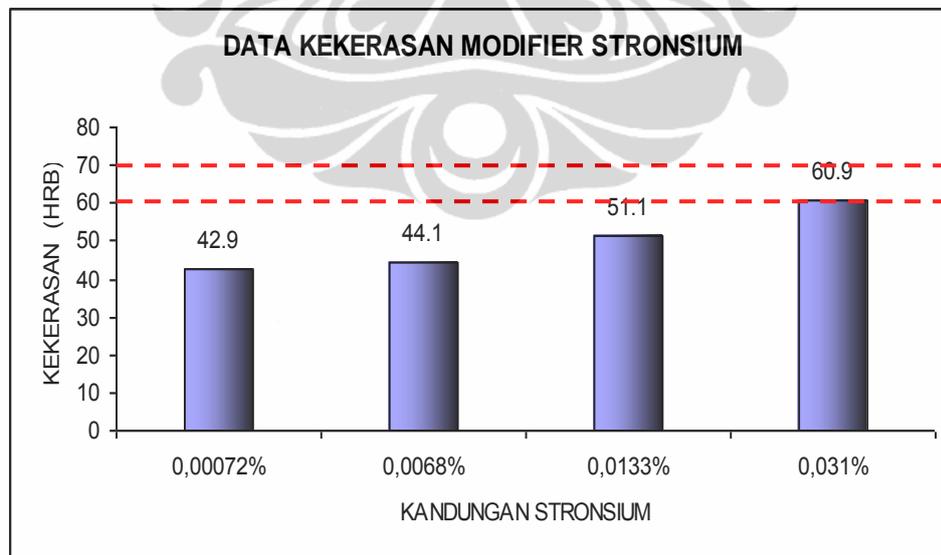
Dari data Tabel 4.2 dapat kita lihat , bahwa hasil pengujian kekerasan yang dilakukan pada sampel paduan Aluminium AC8H proses perlakuan panas T6 menunjukkan seluruh sampel masuk pada toleransi standar kekerasan piston yang telah ditetapkan yaitu 60 – 70 HRB. Hal ini menunjukkan bahwa sampel hasil proses perlakuan panas T6 telah mengalami proses yang sempurna, karena seluruh sampel tersebut masuk dalam standar yang telah ditentukan. Paduan aluminium AC8H proses perlakuan panas T6 adalah standar *requirement* dari

material yang dipakai pada pembuatan komponen piston. Nilai Rata-rata hasil pengujian kekerasan pada sampel ini adalah : 64,2 HRB.

4.3.2 Pengaruh *Modifier Stronsium* terhadap Kekerasan

Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan *modifier Stronsium*

No	Sampel	Kandungan Stronsium	Titik					Kekerasan (HRB)
			1	2	3	4	5	
1	O	0,00072%	44,5	43,2	41,6	42,9	42,5	42,9
2	A1	0,0068%	49,3	47,2	45,2	48,9	45,1	44,1
3	A2		45,8	46,9	48,1	49,2	48,9	
4	A3		49,2	44,7	49,8	46,9	46,4	
5	B1	0,0133%	50,4	52,4	50,8	52,1	50,8	51,1
6	B2		50,2	48,9	51,3	49,9	53,4	
7	B3		54,2	49,8	49,2	50,8	52,1	
8	C1	0,031%	60,3	62,1	59,3	64,1	58,3	60,9
9	C2		57,6	64,9	61,2	62,3	63,2	
10	C3		59,3	56,4	60,3	62,1	61,9	



Gambar 4.6 Grafik data Kekerasan *modifier Stronsium*

Hasil pengujian kekerasan pada sampel *ascast* penambahan *modifier stronsium* dapat dilihat pada gambar 4.6. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa

semakin besar kadar Stronsium yang ditambahkan, semakin besar pula kekerasan material paduan aluminium AC8H . Peningkatan nilai kekerasan ini disebabkan karena perubahan mikrostruktur dari paduan tersebut. Silikon eutektik yang semula berbentuk *acicular* (jarum) dan memiliki konsentrasi tegangan yang tinggi, berubah menjadi bentuk *fibrous* (bulat) yang tersebar merata dan rendah tingkat konsentrasi tegangannya^[2]. Dengan naiknya kandungan Stronsium dari 0,00072% menjadi 0,0068% , 0,0133% lalu 0,031% menyebabkan nilai kekerasan secara berturut turut meningkat sebesar 2,8 % , 19,1% dan 41,8%. Perbedaan nilai persentase peningkatan kekerasan ini dapat dikaitkan dengan perubahan mikrostruktur pada paduan akibat penambahan stronsium. Pada sampel dengan kandungan 0,0133 % Sr terjadi perubahan mikrostruktur secara signifikan, bentuk yang semula *acicular* menjadi bentuk yang *fibrous*. Perubahan mikrostruktur secara radikal ini menyebabkan perubahan secara signifikan pada nilai kekerasan material tersebut. Peningkatan ini tidak dipengaruhi oleh silikon primer yang terbentuk karena silikon primer yang terbentuk tidak dominan dalam mikrostruktur paduan Aluminium AC8H. Sehingga dapat disimpulkan bahwa peningkatan kekerasan dipengaruhi oleh silikon eutektik.

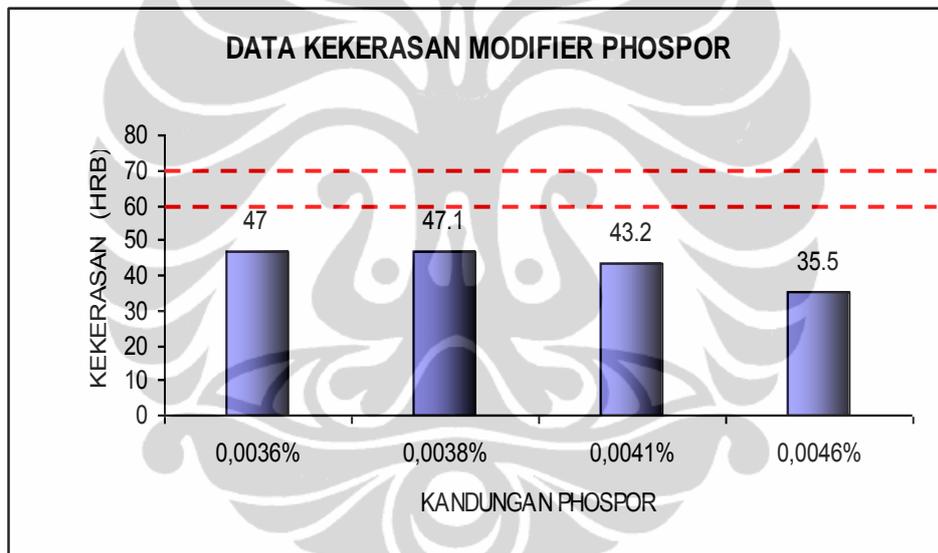
Fasa silikon primer yang terdapat pada paduan ini tidak mempengaruhi secara signifikan kepada nilai kekerasan paduan ini. Hal ini dikarenakan jumlah silikon primer yang terbentuk sedikit, fasa yang sedikit tentunya tidak memberikan pengaruh yang signifikan dibandingkan dengan silikon eutektik yang memiliki fasa yang lebih dominan.

Pada sampel dengan kandungan 0,031% Stronsium mempunyai nilai kekerasan 60,9 HRB, kekerasan sampel ini masuk dalam standar toleransi kekerasan piston yang 60-70 HRB (garis putus-putus). Hal ini membuat sampel dengan kandungan 0,031% stronsium mampu memenuhi spesifikasi kekerasan material piston. *Modifier* stronsium biasa ditambahkan pada range 0,008-0,04%^[4] penambahah berlebih dapat mengakibatkan *overmodification* yang akan membuat bentuk kristal silikon menjadi kasar dan menurunkan kekerasan.

4.3.3 Pengaruh *Modifier* Phospor terhadap Kekerasan

Tabel 4.4 Hasil pengujian kekerasan *modifier* Phospor

No	Sampel	Kandungan phospor	Titik					Kekerasan (HRB)
			1	2	5	4	5	
1	O	0,0036%	47,5	46,3	47,8	45,9	48,2	47
2	A1	0,0038%	48,2	45,7	45,8	46,9	47,2	47,1
3	A2		45,3	48,1	47,3	47,6	47,1	
4	A3		48,8	47,2	46,8	47,9	45,3	
5	B1	0,0041%	41,6	45,7	45,8	41,9	44,2	43,2
6	B2		45,3	42,1	42,3	40,6	42,1	
7	B3		40,8	47,2	45,8	41,4	41,3	
8	C1	0,0046%	34,6	37,4	35,4	39,4	38,9	35,5
9	C2		37,8	38,1	34,8	33,6	35,4	
10	C3		33,8	34,2	34,2	31,9	32,7	



Gambar 4.7 Grafik Data kekerasan *modifier* Phospor

Dari data Gambar 4.7 yang merupakan hasil pengujian kekerasan terhadap sampel *as-cast* penambahan *modifier* phospor dapat kita lihat bahwa semakin besar jumlah penambahan *modifier* phospor didapat nilai hasil uji kekerasan paduan aluminium AC8H mengalami penurunan. Perubahan sifat mekanis dalam hal ini kekerasan tergantung dari bentuk morfologi dari mikrostrukturnya. Untuk itu gambar 4.2. dapat membantu memberikan pemahaman mengenai hal tersebut. Pada paduan dengan kandungan 0,0036% phospor mempunyai nilai kekerasan 47 HRB dan morfologi dari mikrostrukturnya adalah silikon eutektik berupa jarum-

jarum tajam dengan ukuran yang kecil dan saling berhubungan satu sama lainnya, Gambar 4.2.a. Pada sampel dengan kandungan 0,0038% Fosfor, Gambar 4.2.b terlihat perubahan yang sangat jelas dimana struktur silikon eutektik yang terbentuk seperti bentuk *fibrous* yang agak kasar, sampel pada kondisi ini mempunyai nilai kekerasan 47,1 HRB. Pada sampel dengan kandungan 0,0041% Fosfor, struktur silikon eutektik yang terbentuk kembali menjadi jarum-jarum kasar dengan sedikit terlihat seperti bentuk *fibrous* pada bagian tertentu. Namun demikian, konsentrasi dari silikon eutektik pada sampel ini menjadi lebih berkurang jika dibandingkan dengan sampel dengan kandungan 0,0036 % dan 0,0038% Fosfor. Hal ini yang mengakibatkan nilai kekerasan turun sebesar 8,1 % menjadi 43,2 HRB. Begitu juga sampel 0,0046 % Fosfor, dimana pada sampel tersebut jarum-jarum silikon eutektik terlihat lebih tajam dengan bentuk seperti dendrit-dendrit pada hampir seluruh bagian sampel dan dengan jumlah konsentrasi yang semakin sedikit bahkan pada sampel ini terlihat beberapa silikon primer. Akibatnya kekerasan menurun lagi sebesar 24,5 % menjadi 35,5 HRB. Secara umum semakin besar penambahan *modifier* Fosfor kekerasan semakin menurun akibat bentuk silikon eutektik yang berubah dari bentuk jarum jarum halus ke bentuk jarum yang besar dan kasar dan berkurangnya jumlah konsentrasi dari silikon eutektik. Pada semua sampel penambahan *modifier* Fosfor mempunyai nilai kekerasan antara 35 – 47,1 HRB, kekerasan sampel tersebut tidak memenuhi standar toleransi kekerasan piston : 60-70 HRB. Hal ini membuat seluruh kondisi penambahan *modifier* Fosfor tidak mampu memenuhi standar kekerasan material piston.

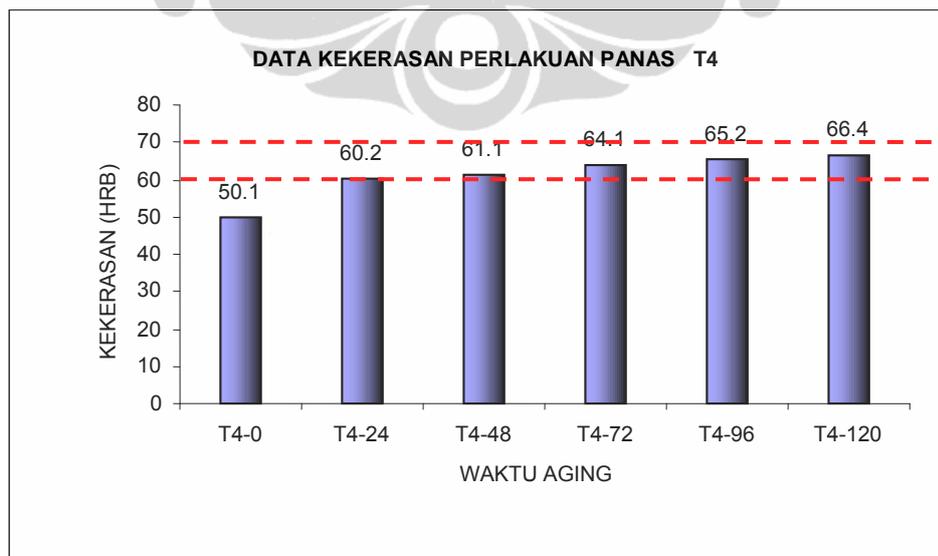
4.3.4 Pengaruh Proses Perlakuan Panas T4 terhadap Kekerasan

Pengujian kekerasan proses perlakuan panas sampel T4 (*natural ageing*) diuji mulai sampel 0 jam setelah proses *quenching* sampai sampel 120 jam setelah proses *quenching*, pengujian kekerasan dilakukan setiap 24 jam dengan total 18 sampel yang berbeda sampai jam ke-120. Sampel T4 (*natural ageing*) adalah sampel as-cast paduan aluminium AC8H tanpa penambahan *modifier*

stronsium maupun *modifier* fosfor. Adapun hasil pengujian kekerasan sampel proses perlakuan panas T4 (*natural ageing*) dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian kekerasan perlakuan panas T4

No	Sampel	Kondisi	Titik					Kekerasan (HRB)
			1	2	3	4	5	
1	A1	T4-0	50,6	49,4	50,3	48,9	51,2	50,1
2	A2		50,2	50,5	50,3	51,4	49,4	
3	A3		48,9	49,6	49,5	51,1	50,8	
4	B1	T4-24	60,3	61,1	58,8	60,2	59,7	60,2
5	B2		60,1	59,2	60,3	61,2	59,8	
6	B3		59,5	60,3	60,7	60,9	61,4	
7	C1	T-48	61,2	60,7	60,1	61,3	60,9	61,1
8	C1		60,3	62,1	58,8	61,2	59,7	
9	C3		61,4	62,3	63,1	60,9	62,5	
10	D1	T-72	64,3	63,5	63,9	62,7	64,1	64,1
11	D2		65,4	63,9	66,5	62,8	64,7	
12	D3		64,7	62,3	63,8	63,9	62,1	
13	E1	T-96	66,2	64,9	64,7	65,6	66,1	65,2
14	E2		65,7	64,5	66,5	64,2	64,8	
15	E3		64,1	65,3	63,9	66,2	65,4	
16	F1	T-120	67,2	65,9	65,3	66,1	66,5	66,4
17	F2		68,3	62,9	66,3	64,1	66,7	
18	F3		68,5	67,9	67,7	64,9	67,2	



Gambar 4.8 Grafik Data kekerasan perlakuan panas T4

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai kekerasan sampel T4 (*natural ageing*) meningkat mulai dari sampel 0 jam setelah *quenching* sampai sampel 120 jam setelah *quenching*, hal ini menunjukkan bahwa paduan aluminium AC8H dapat dilakukan proses T4 (*natural ageing*) untuk meningkatkan kekerasannya, bahkan dapat mencapai kekerasan standar yang telah ditentukan yaitu 60-70 HRB.

Dari segi kekerasan, piston hasil proses T4 (*natural ageing*) ternyata mampu mencapai kekerasan standar (60 – 70 HRB) setelah 48 jam dengan nilai kekerasan sebesar 61,1 HRB dan bahkan mampu mencapai nilai kekerasan 66,4 HRB setelah 120 jam proses *quenching* (proses T4).

Kekerasan yang memadai sangat dibutuhkan piston mengingat piston merupakan part yang selalu bergerak sehingga memungkinkan piston akan selalu bergesekan dengan *lining cylinder comp*. Dilihat dari segi kekerasan, proses T4 (*natural ageing*) mampu menggantikan proses T6 (*artificial ageing*) setelah 48 jam.

Peningkatan kekerasan proses *ageing* T4 maupun T6 disebabkan karena proses pembentukan dari presipitat ^[20], yang terdispersi secara merata selama proses *ageing*. Presipitat yang mungkin terbentuk adalah $CuAl_2$ dan Mg_2Si ^[20], yang bersifat keras mengingat paduan aluminium AC8H merupakan material paduan Al-Si-Cu-Mg.

Proses pengerasan ini adalah proses pengerasan presipitasi dengan mekanisme pertama-tama dilakukan *solution treatment* untuk membentuk satu fasa (fasa α) setelah itu dilakukan proses *quench* dan sesaat setelah terjadi proses *quench* maka akan terjadi banyak *vacancy* yang pada saat proses *ageing* presipitat-presipitat yang terbentuk akan bergerak mengisi *vacancy*. Presipitat tersebut terdispersi secara merata pada batas butir yang nantinya akan menghalangi laju *dislokasi* sehingga material akan mengalami pengerasan *presipitasi*^[20]. Melihat hasil diatas, maka sejak T4-24 Jam nilai kekerasan material (60,2 HRB) sudah masuk dalam standar toleransi kekerasan piston : 60-70 HRB. Hal ini membuat sampel perlakuan panas *natural ageing* sejak 24 Jam (T4-24 Jam) mampu memenuhi spesifikasi kekerasan material piston.

4.4 PENGUJIAN KEAUSAN

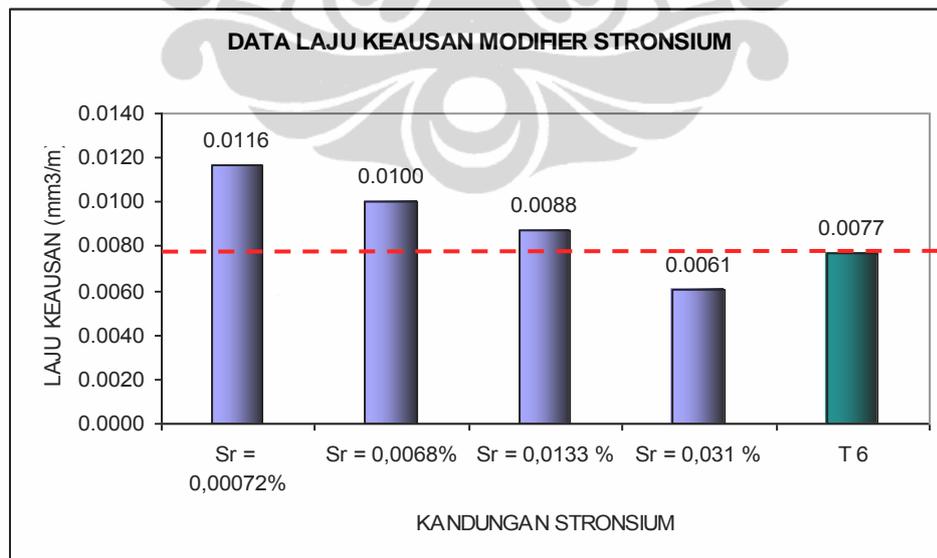
Data yang didapatkan dari hasil uji keausan ini adalah besar celah terabrasif, besar celah yang terabrasif (mm) ini digunakan untuk menentukan volume yang terabrasif. Volume celah terabrasif kemudian digunakan untuk menentukan nilai laju keausan material. Besar laju keausan menentukan ketahanan aus material tersebut. Semakin kecil nilai laju keausan material, maka semakin besar ketahanan aus material tersebut. Sebaliknya, semakin besar nilai laju keausan, maka semakin rendah ketahanan aus material tersebut.

4.4.1 Pengaruh *Modifier Stronsium* terhadap laju Keausan

Tabel 4.6 Hasil pengujian laju keausan *modifier Stronsium*

No	Kandungan Stronsium	b (mm)	B (mm)	r (mm)	x (m)	V (mm ³ /m)
1	Sr = 0,00072%	5,19	3	15	200	0,0116
2	Sr = 0,0068%	4,94	3	15	200	0,0100
3	Sr = 0,0133 %	4,72	3	15	200	0,0088
4	Sr = 0,031 %	4,18	3	15	200	0,0061
5	T 6	4,52	3	15	200	0,0077

V adalah Laju keausan, dihitung menurut persamaan3.2



Gambar 4.9 Grafik Data laju keausan *modifier Stronsium*

Berdasarkan data yang didapat dari pengujian keausan (Gambar 4.9) diketahui bahwa penambahan kadar Stronsium pada paduan Aluminium AC8H

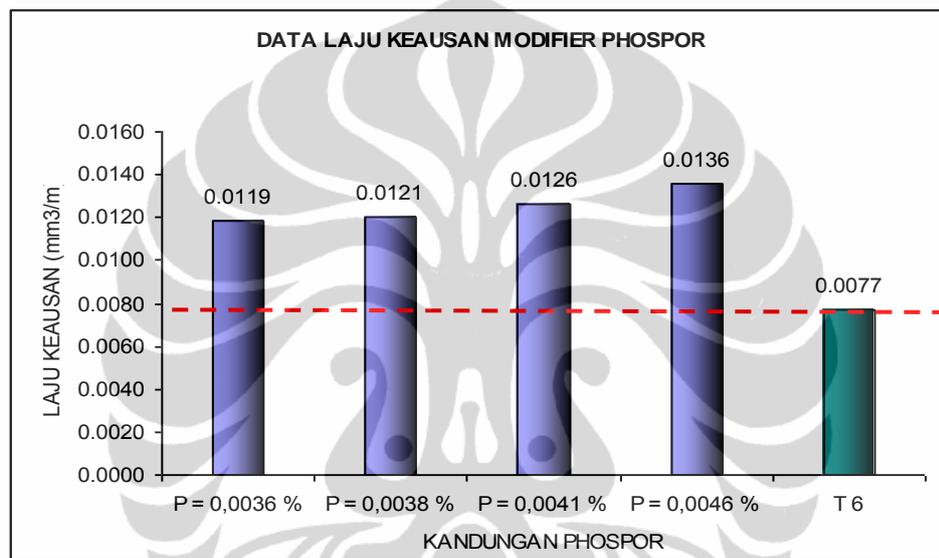
meningkatkan ketahanan aus material tersebut. Peningkatan nilai ketahanan aus paduan dapat dilihat dengan penurunan nilai laju keausan. Laju keausan paduan sebelum ditampanya stronsium (0,00072% Sr) adalah $0,00116 \text{ mm}^3/\text{m}$, setelah ditambahkan stronsium laju keausan paduan menurun. Pada sampel dengan kandungan 0,031 % stronsium, nilai laju keausan menurun menjadi sebesar $0,0061 \text{ mm}^3/\text{m}$.

Peningkatan nilai ketahanan aus material dengan penambahan *modifier* dapat dikaitkan dengan perubahan bentuk silikon eutektik dari bentuk *acicular* menjadi bentuk yang *fibrous* yang tersebar merata. Namun, sampai saat ini, masih tidak ditemukan kejelasan mengenai efek *modifier* terhadap keausan. Hal ini terkait dengan kesulitannya sebagian orang untuk mengartikan keausan. Beberapa orang mengatakan bahwa besar silikon primer memberikan efek yang lebih signifikan terhadap ketahanan aus dibandingkan dengan bentuk dari silikon primer^[2]. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, kadar Silikon yang tinggi memiliki ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan dengan kadar Silikon yang rendah. Sebagian lagi mengatakan bahwa *modifier* yang merubah bentuk silikon primer menjadi lebih halus mempengaruhi ketahanan aus^[2]. Ada faktor lain yang bisa lebih mempengaruhi ketahanan aus, yaitu : lubrikasi dan beban penggunaan. Yang menarik nilai laju keausan pada sampel dengan kandungan 0,031 % Stronsium sebesar $0,0061 \text{ mm}^3/\text{m}$, lebih rendah dari nilai laju keausan T6 yaitu sebesar $0,0077 \text{ mm}^3/\text{m}$. Sehingga dapat disimpulkan penambahan modifier Stronsium pada kandungan Stronsium sebesar 0,031% mampu memenuhi spesifikasi material piston ditinjau dari aspek laju keausan. Nilai laju aus sampel T6 dijadikan nilai standar laju keausan material piston mengingat belum adanya standar laju keausan pada piston.

4.4.2 Pengaruh *Modifier* Phospor terhadap Laju Keausan

Tabel 4.7 Hasil pengujian laju keausan *modifier* Phospor

No	Kandungan phospor	b (mm)	B (mm)	r (mm)	x (m)	V (mm ³ /m)
1	P = 0,0036 %	5,22	3	15	200	0,0119
2	P = 0,0038 %	5,25	3	15	200	0,0121
3	P = 0,0041 %	5,33	3	15	200	0,0126
4	P = 0,0046 %	5,46	3	15	200	0,0136
5	T 6	4,52	3	15	200	0,0077



Gambar 4.10 Grafik Data laju keausan *modifier* Phospor

Dari grafik diatas dapat dilihat, bahwa semakin tinggi kadar Phospor semakin tinggi laju aus. Hal ini menunjukkan bahwa sampel yang kandungan Phospornya tinggi akan memiliki ketahanan aus yang lebih buruk dari sampel dengan kandungan Phospor yang rendah . Perbedaan nilai laju aus antara sampel dengan kandungan Phospor 0,0036% (0,0119) dan sampel dengan kandungan Phospor 0,0046% (0,0136) adalah sebesar 14.4%. Turunnya ketahanan aus ini dipengaruhi oleh struktur mikro yang terbentuk. Pada struktur mikro sampel dengan kandungan 0,0036% kadar phospor (Gambar 4.2.a) terlihat distribusi silikon eutektik yang sangat luas dan bentuk silikon yang halus, sehingga didapatkan ketahanan aus yang baik. Sedangkan pada sampel dengan kandungan 0,0046% Phospor (Gambar 4.2.d), terlihat jelas bahwa struktur silikon eutektik

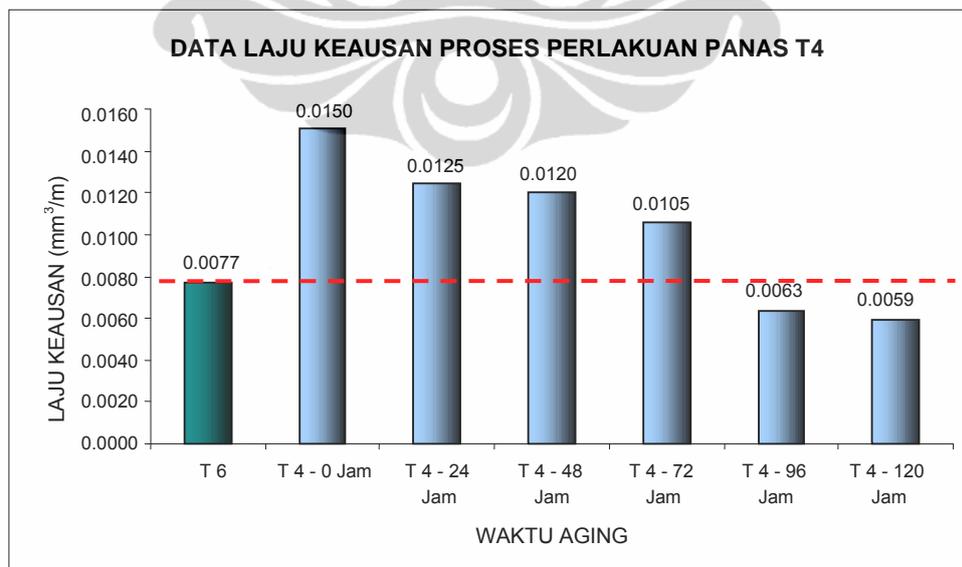
yang terbentuk jauh lebih sedikit. Selain itu bentuk dari silikon eutektik jauh lebih kasar dan tajam, hal ini yang mempengaruhi turunnya ketahanan aus dari sampel ini.

Pada semua sampel penambahan modifier fosfor mempunyai nilai laju keausan lebih tinggi bila dibandingkan nilai laju keausan sampel T6, hal ini membuat penambahan modifier fosfor tidak mampu memenuhi spesifikasi material piston ditinjau dari aspek laju keausan.

4.4.3 Pengaruh Proses Perlakuan Panas T4 terhadap Laju Keausan

Tabel 4.8 Hasil pengujian laju keausan proses perlakuan panas T4

No	Sampel	B (mm)	B (mm)	r (mm)	x (m)	V (mm ³ /m)
1	T 6	4,52	3	15	200	0,0077
2	T 4 - 0 Jam	5,65	3	15	200	0,0150
3	T 4 - 24 Jam	5,31	3	15	200	0,0125
4	T 4 - 48 Jam	5,24	3	15	200	0,0120
5	T 4 - 72 Jam	5,02	3	15	200	0,0105
6	T 4 - 96 Jam	4,23	3	15	200	0,0063
7	T 4 - 120 Jam	4,14	3	15	200	0,0059



Gambar 4.11 Grafik Data laju keausan proses perlakuan panas T4

Hasil pengujian laju keausan piston *artificial ageing* (T6) dan *natural ageing* (T4) mulai sampel 0 jam setelah proses *quenching* sampai sampel 120 jam setelah proses *quenching*, ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Berdasarkan Gambar 4.11, terlihat bahwa laju keausan sampel *natural ageing* (T4) mulai 0 jam sampai setelah 120 jam mengalami penurunan, sedangkan laju keausan sampel T6 diperlihatkan oleh garis merah pada grafik. Laju keausan yang menurun menandakan ketahanan aus material yang meningkat, ketahanan aus sendiri berbanding lurus dengan kekerasan material. Menurut literatur yang ada, peningkatan kekerasan proses *ageing* T4 maupun T6 disebabkan karena proses pembentukan dari presipitat^[20], yang terdispersi secara merata selama proses *ageing*. Presipitat yang mungkin terbentuk adalah CuAl_2 dan Mg_2Si ^[20] yang bersifat keras.

Pada grafik diatas terlihat bahwa sampel T4 mulai 96 jam mampu memiliki nilai laju keausan dibawah laju aus T6 dan terus mengalami penurunan pada sampel T4 setelah 120 jam. Seperti kita ketahui bahwa laju keausan berbanding terbalik dengan ketahanan aus, yang artinya semakin rendah nilai laju keausan berarti ketahanan ausnya semakin baik, dan suatu fenomena yang menarik disini bahwa ketahanan aus sampel T4 (*natural ageing*) mulai 96 jam ternyata lebih baik dari ketahanan aus sampel T6. Sehingga dapat disimpulkan proses perlakuan panas T4 (*natural ageing*) setelah 96 jam mampu memenuhi spesifikasi material piston ditinjau dari aspek laju keausan

Ketahanan aus sangat penting bagi part piston dikarenakan piston sangat mungkin bergesekan dengan dinding *cylinder comp* karena gerakannya yang naik turun, untuk itu piston membutuhkan material yang memiliki ketahanan aus yang baik.

4.5 PENGUJIAN TARIK

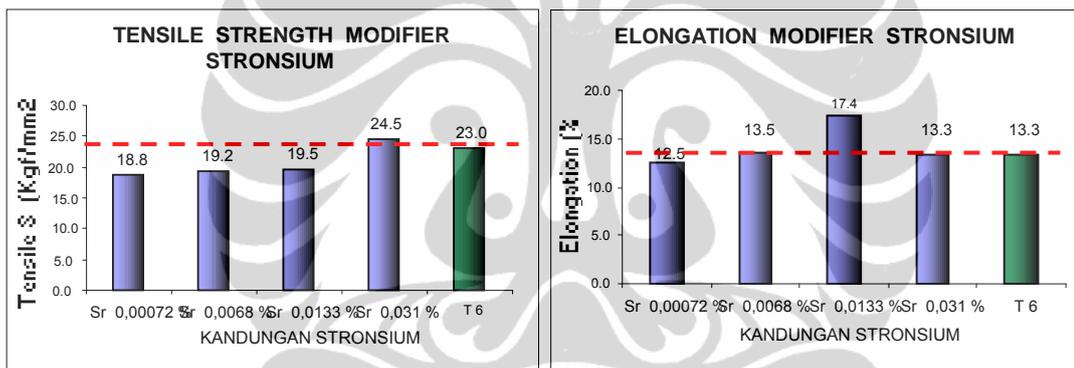
Pengujian ini dilakukan dengan mesin Shimadzu, dimana sampel uji tarik didapatkan dari hasil pengecoran aluminium dengan menggunakan cetakan uji tarik. Terdapat tiga sampel uji tarik untuk setiap variabel, pada dasarnya pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) dan nilai *elongation* paduan aluminium AC8H dengan penambahan *modifier* Stronsium,

Phospor serta paduan yang mengalami proses perlakuan panas T6 dan T4-0 jam sampai T4-120 jam. Data data hasil pengujian tarik laboratorium PT. X terdapat pada lampiran.

4.5.1 Efek *Modifier* Stronsium terhadap Kekuatan tarik dan Regangan

Tabel 4.9 Hasil pengujian tarik *modifier* Stronsium

No	Kandungan stronsium	Tensile strength (Kgf/mm ²)	Elongation (%)
1	Sr = 0,00072 %	18,8	12,5
2	Sr = 0,0068 %	19,2	13,5
3	Sr = 0,0133 %	19,5	17,4
4	Sr = 0,031 %	24,5	13,3
5	T 6	23,0	13,3



Gambar 4.12 Grafik hasil uji tarik (*UTS* dan *elongation*) *modifier* Stronsium

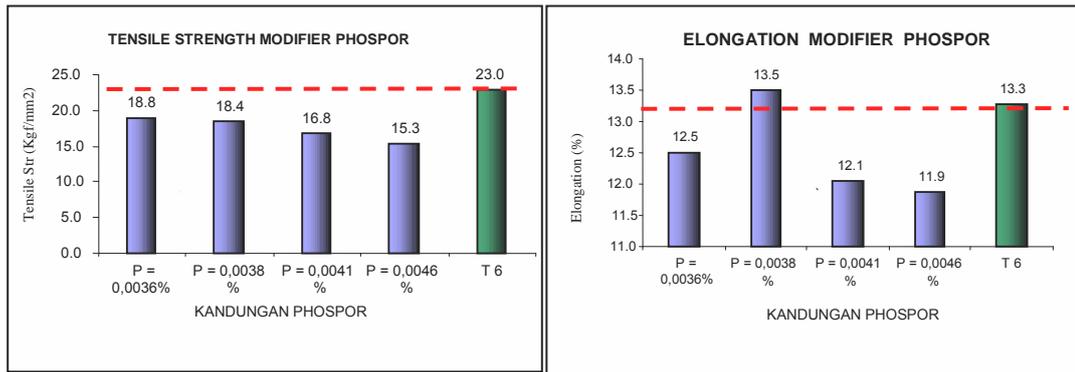
Berdasarkan data yang didapat dari pengujian tarik (Gambar 4.12) diketahui bahwa penambahan kadar Stronsium pada paduan Aluminium AC8H meningkatkan kekuatan tarik material tersebut. Secara umum peningkatan mencapai 30,3 % dengan menambahkan Stronsium sebesar 0,03 %. Peningkatan ini disebabkan karena perubahan bentuk struktur silikon eutektik dari bentuk *acicular* menjadi bentuk *fibrous*, yang halus^[2]. Pada kondisi 0,00072 % Stronsium, silikon eutektik masih berbentuk *acicular* yang memiliki *internal stress concentration* yang besar sehingga lebih mudah rapuh dan getas. Pada kondisi 0,0068 % dan 0,0133% Stronsium, bentuk silikon eutektik mulai berubah menjadi bentuk *fibrous* yang halus (Gambar 4.1 b & Gambar 4.1 c) yang tidak memiliki *internal stress concentration*, sehingga lebih tangguh dan ulet. Pada kondisi

dengan kadar stronsium yang lebih besar lagi, yakni 0,031 % , struktur silikon eutektik menjadi lebih halus dan merata (Gambar 4.1 d). Keahlian silikon eutektik meningkat seiring dengan peningkatan kadar Stronsium yang ditambahkan. Semakin halus silikon eutektik yang terbentuk tentunya membuat nilai kekuatan tarik material akan semakin besar. Persentase peningkatan nilai kekuatan tarik memiliki kecenderungan yang sama dengan persentase peningkatan nilai kekerasan. Kekuatan mulur (*elongation*) juga mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar Stronsium, seperti disampaikan didepan pada kondisi 0,00072 % Stronsium, silikon eutektik masih berbentuk *acicular* yang memiliki *internal stress concentration* yang besar sehingga lebih mudah rapuh dan getas. Pada kondisi kandungan Stronsium 0,0068 % dan 0,0133% , bentuk silikon eutektik mulai berubah menjadi bentuk *fibrous* yang halus yang tidak memiliki *internal stress concentration* , sehingga lebih tangguh dan ulet. Demikian pula kondisi dengan kadar Stronsium yang lebih besar lagi, yakni 0,031 % ketangguhan lebih diproyeksikan dalam nilai kekuatan tariknya (UTS) dibanding dengan kekuatan mulurnya (*elongation*), karena nilai UTS meningkat pesat sementara nilai *elongationnya* menurun. Pada kondisi paduan dengan kadar Stronsium 0,031 % mempunyai nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi dari kekuatan tarik T6 dan *elongation* yang sama dengan kondisi T6. Sementara ketangguhan pada kadar 0,031 % Stronsium juga lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi T6 (lampiran 5), sehingga sampel ini memenuhi spesifikasi material piston ditinjau dari aspek kekuatan tarik , *elongation* dan ketangguhan.

4.5.2 Efek Modifier Phospor terhadap Kekuatan tarik dan Regangan

Tabel 4.10 Hasil pengujian tarik *modifier* Phospor

No	Kandungan phospor	Tensile strength (Kgf/mm ²)	Elongation (%)
1	P = 0,0036%	18,8	12,5
2	P = 0,0038 %	18,4	13,5
3	P = 0,0041 %	16,8	12,1
4	P = 0,0046 %	15,3	11,9
5	T 6	23,0	13,3



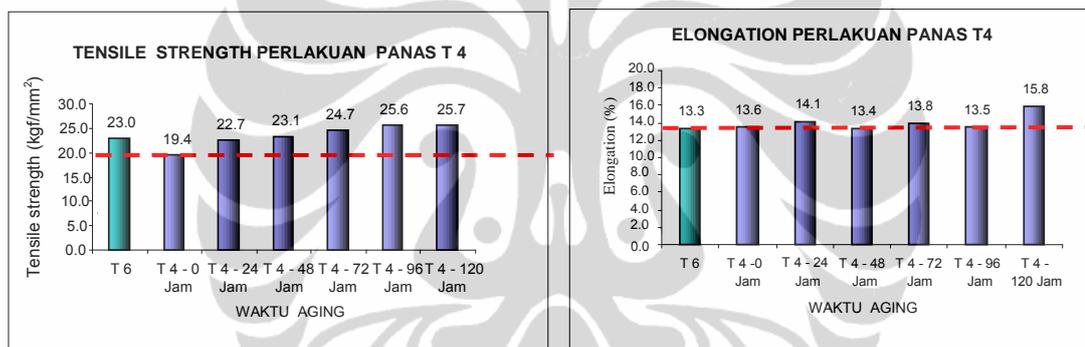
Gambar 4.13 Grafik hasil uji tarik (*UTS* dan *elongation*) modifier Phospor

Berdasarkan grafik pada gambar 4.13, secara umum terlihat adanya penurunan nilai kekuatan tarik dan kekuatan mulur (*elongation*) seiring dengan penambahan Phospor dari 0,0036% ke 0,0046% , kecuali pada penambahan Phospor 0,0038% nilai kekuatan tarik dan *elongation*nya sempat naik. Peningkatan kekuatan tarik tersebut lebih banyak dipengaruhi unsur paduan, dimana unsur paduan dapat mempengaruhi sifat mekanis dari paduan Al-Si^[7]. Pada hasil pengujian komposisi kimia Tabel 4.1. (sampel phospor 0,0038%) terlihat adanya beberapa unsur paduan yang mengalami kenaikan kandungan unsur, seperti Cu dan Mg. Kenaikan kandungan Cu dan Mg ini dapat mengakibatkan peningkatan pada sifat mekanis dari paduan, khususnya pada kekuatan tarik dan *elongation*. Penurunan kekuatan tarik yang signifikan terjadi pada sampel dengan kandungan Phospor 0,0041% dimana terjadi penurunan nilai kekuatan tarik sebesar 10,6% dari sampel sebelumnya, yaitu sampel 0,0036% P , demikian juga kekuatan tarik sampel 0,0046% P yang turun 8,9% dibandingkan sampel 0,0041% P. Penyebab penurunan ini dapat dianalisa dari struktur yang terbentuk pada sampel-sampel tersebut. Terdapatnya struktur jarum yang tajam dan dendrit pada silikon eutektik, serta peningkatan ukuran dari silikon eutektik akan menyebabkan terjadinya penurunan kekuatan tarik.

4.5.3 Efek Proses Perlakuan Panas T4 terhadap Kekuatan tarik dan Regangan

Tabel 4.11 Hasil pengujian tarik proses perlakuan panas T4

No	Sampel	Tensile strength (Kgf/mm ²)	Elongation (%)
1	T 6	23,0	13,3
2	T 4 - 0 Jam	19,4	13,6
3	T 4 - 24 Jam	22,7	14,1
4	T 4 - 48 Jam	23,1	13,4
5	T 4 - 72 Jam	24,7	13,8
6	T 4 - 96 Jam	25,6	13,5
7	T 4 - 120 Jam	25,7	15,8



Gambar 4.14 Grafik hasil uji tarik (*UTS* dan *elongation*) Perlakuan panas T4

Berdasarkan data yang didapat dari pengujian tarik (Gambar 4.14) diketahui bahwa semakin lama waktu *ageing* nilai kekuatan tarik maupun *elongation* akan meningkat. Menurut literatur yang ada, peningkatan kekuatan dan *elongation* pada proses *ageing* T4 maupun T6 disebabkan karena proses pembentukan dari presipitat yang terdispersi secara merata selama proses *ageing*^[20]. Presipitat yang mungkin terbentuk adalah CuAl₂ dan Mg₂Si yang bersifat keras mengingat AC8H merupakan material paduan Al-Si-Cu-Mg.

Pembentukan presipitasi pada paduan tersebut melalui mekanisme, pertama-tama dilakukan *solution treatment* untuk membentuk satu fasa (fasa α) setelah itu dilakukan proses *quench* dan sesaat setelah terjadi proses *quench* maka akan terjadi banyak *vacancy* yang pada saat proses *ageing* presipitat-presipitat

yang terbentuk akan bergerak mengisi *vacancy*. Presipitat-presipitat tersebut terdispersi secara merata pada batas butir yang nantinya akan menghalangi laju dislokasi sehingga material akan mengalami penguatan presipitasi^[20].

Dari segi kekuatan tarik, sampel hasil proses T4 (*natural ageing*) ternyata mampu melebihi kekuatan tarik sampel T6 (*artificial ageing*) yang merupakan standar acuan (23 Kgf/mm^2) setelah 72 jam dengan nilai kekuatan $24,7 \text{ Kgf/mm}^2$. Kekuatan tarik akan terus meningkat menjadi $25,6 \text{ Kgf/mm}^2$ setelah 96 jam waktu *ageing* dan $25,7 \text{ Kgf/mm}^2$ setelah 120 jam waktu *ageing*. Nilai *elongation* sampel T4 secara umum lebih tinggi dari sampel T6, dimana nilai *elongation* T6 adalah 13,3% sementara nilai *elongation* T4 berada pada angka 13,3% - 15,8%. *Elongation* atau mampu mulur merupakan salah satu parameter untuk menentukan keuletan dari suatu material, dimana semakin tinggi nilai *elongation* semakin ulet material tersebut.

Gabungan kekuatan dan *elongation* dapat disebut dengan ketangguhan suatu material, sifat ini sangat dibutuhkan piston mengingat piston merupakan komponen yang selalu bergerak sehingga memungkinkan piston akan selalu berbenturan dengan *cylinder head*. Dilihat dari segi ketangguhan, proses T4 (*natural ageing*) mampu menggantikan proses T6 (*artificial ageing*) setelah 96 jam waktu *ageing* (lampiran 5). Pembentukan presipitasi pada paduan tersebut melalui mekanisme, pertama-tama dilakukan *solution treatment* untuk membentuk satu fasa (fasa α) setelah itu dilakukan proses *quench* dan sesaat setelah terjadi proses *quench* maka akan terjadi banyak *vacancy* yang pada saat proses *ageing* presipitat-presipitat yang terbentuk akan bergerak mengisi *vacancy*. Presipitat-presipitat tersebut terdispersi secara merata pada batas butir yang nantinya akan menghalangi laju dislokasi sehingga material akan mengalami penguatan akibat presipitasi^[24].

4.6 PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DENGAN SEM DAN EDS

Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dan komposisi fasa yang terjadi akibat penambahan modifier dan perlakuan panas. Pengamatan dilakukan dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan pembahasan dilakukan hanya pada sampel yang mempunyai nilai sifat mekanis memenuhi

persyaratan material paduan aluminium AC8H T6 yang merupakan standar dari material komponen piston. Secara spesifik sampel yang memenuhi persyaratan material paduan aluminium AC8H T6 dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Matrik Hasil Pengujian Sifat Mekanik

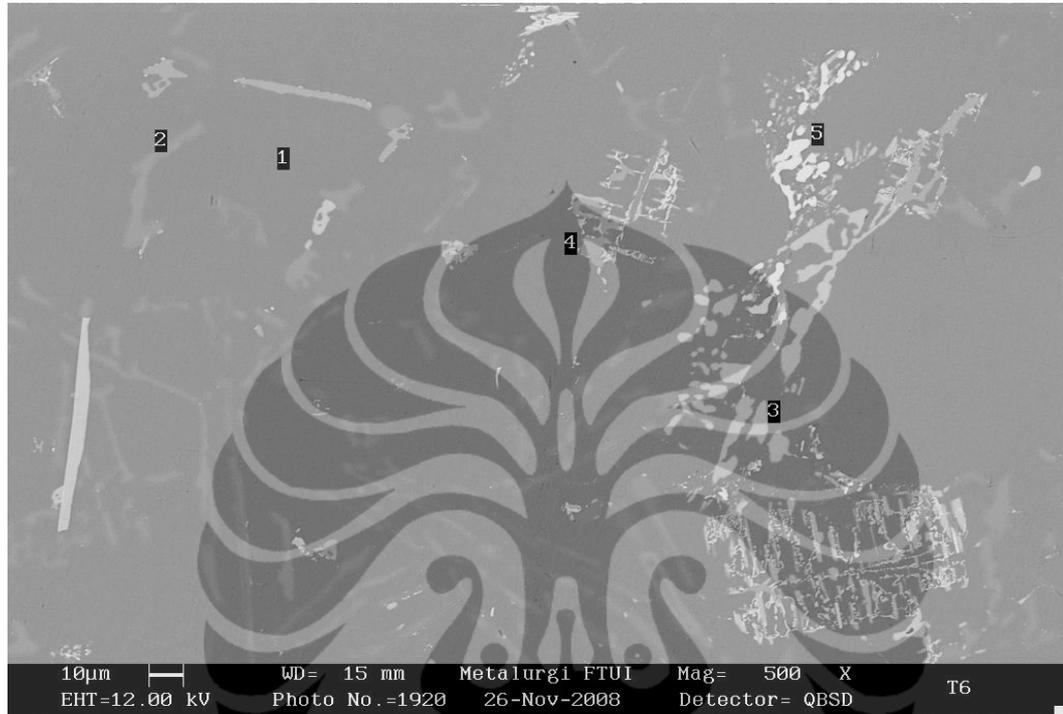
Kondisi	Kekerasan (HRB)	Status	Kekuatan Tarik (Kgf/mm ²)	Status	Elongation (%)	Status	Laju Keausan (mm ³ /m)	Status
AC8H - T6	60 - 70		24.5		13.3		0,0077	
Sr :0,00072	42.9	x	18.8	x	12,5	x	0.0116	x
Sr :0,0068	44.1	x	19.2	x	13.5	x	0.0100	x
Sr :0,0131	51.1	x	19.5	x	17.4	x	0.0088	x
Sr :0,031	60.9	ok	24.7	ok	13.8	ok	0.0061	ok
P:0,0036	47	x	18.8	x	12,5	x	0.0119	x
P:0,0038	47.1	x	19.4	x	15.4	x	0.0121	x
P:0,0041	43.2	x	16.8	x	12.1	x	0.0125	x
P:0,0046	35.5	x	15.3	x	11.9	x	0.0136	x
T4- 0Jam	50.1	x	19.4	x	13.6	x	0.0150	x
T4-24Jam	60.2	ok	19.6	x	14.9	x	0.0125	x
T4-48Jam	61.1	ok	22.7	x	14.1	x	0.0120	x
T4-72Jam	64.1	ok	23.0	x	13.3	ok	0.0105	x
T4-96Jam	65.2	ok	25.6	ok	13.5	ok	0.0063	ok
T4-120Jam	66.4	ok	25.7	ok	15.8	ok	0.0059	ok

Note : Kondisi AC8H - T6 merupakan standar *requirement* material komponen piston.

Hasil pengamatan SEM secara keseluruhan, baik pada sampel aluminium AC8H yang ditambahkan *modifier* Stronsium atau Phospor maupun sampel Aluminium AC8H T-6 dan T4 dari 0-120 Jam dapat dilihat pada lampiran.

4.6.1 Pengamatan SEM dan EDS pada Aluminium AC8H T-6

Fasa-fasa yang terjadi pada sampel Aluminium AC8H T-6 dapat dilihat pada Gambar 4.15, sementara analisa komposisi paduan hasil EDS dari gambar tersebut ditampilkan pada Tabel 4.13.



Gambar 4.15 Foto Struktur Mikro AC8H kondisi T6

Tabel 4.13 Hasil analisa komposisi paduan aluminium AC8H T-6 dengan EDS

No	% Berat unsur					Warna	Indikasi Fasa terbentuk
	Al	Si	Cu	Mg	C		
1	91,89	1,73	5,38	--	1,01	Abu abu tua	Matriks Al-Si-Cu
2	14,46	84,31	--	--	1,22	Abu abu	Kristal Silikon
3	16,06	16,61	38,57	28,41	0,36	Putih abu	CuAl ₂ Mg ₂ Si
4	84,32	4,18	8,74	1,81	0,95	Abu abu muda	AlCuSiMg
5	30,86	0,26	68,68	--	0,20	Putih	CuAl ₂

Berdasarkan hasil pengamatan ini dapat diketahui bahwa pada saat kondisi T6 terbentuk fasa-fasa seperti matriks Aluminium yang mengandung Si dan Cu, Kristal silikon, CuAl₂Mg₂Si, AlCuSiMg dan CuAl₂. Fasa interdendritik

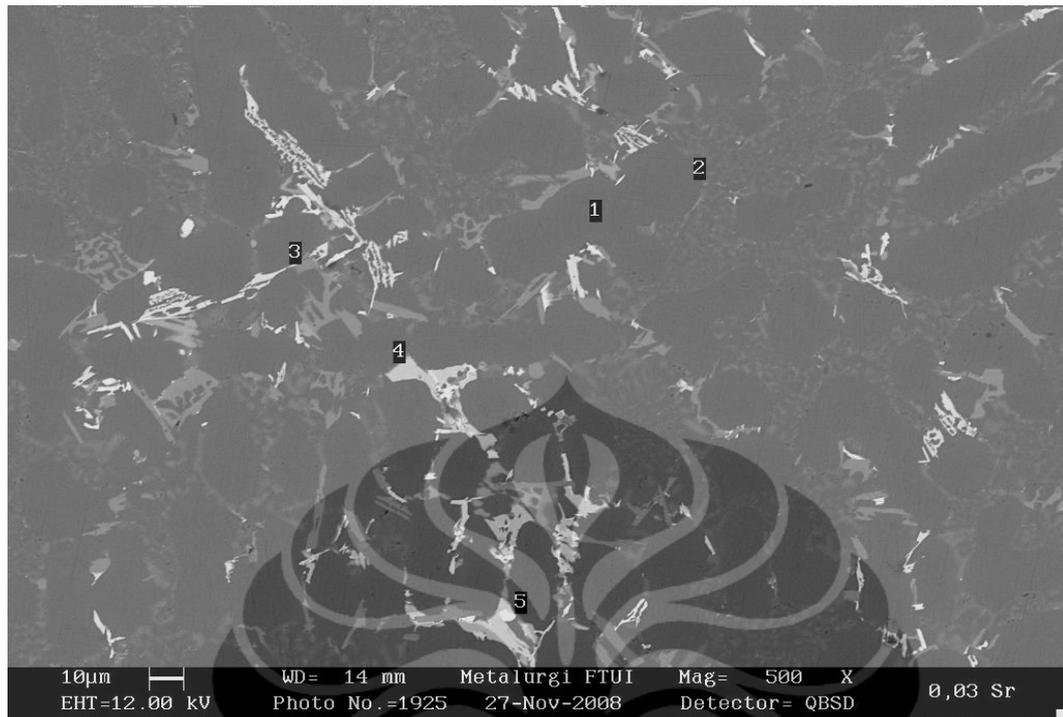
yang hadir Kristal silikon, $\text{CuAl}_2\text{Mg}_2\text{Si}$, AlCuSiMg dan CuAl_2 yang tersebar dalam matriks Al-Si-Cu. Kristal silikon terbentuk sebagai akibat dari batas kelarutan silikon pada aluminium dalam keadaan padat hanya 1,65%^[22].

Fasa berwarna putih abu yang berbentuk seperti huruf kotak (*blocky shape*) mengindikasikan adanya fasa $\text{CuAl}_2\text{Mg}_2\text{Si}$. Fasa ini terbentuk melalui reaksi eutektik karena adanya kandungan Mg serta kelarutan padat Cu dan Si (5,4 % dan 1,65%) yang jauh dibawah kelarutan cairnya^[22]. Selain itu, kondisi paduan ini juga mengandung fasa AlCuSiMg yang berbentuk seperti huruf cina (*chinese script*). Fasa berwarna putih adalah fasa CuAl_2 , fasa ini berbentuk seperti *fibrous* bila dikaitkan dengan kandungan Cu pada paduan Aluminium AC8H perlakuan panas sebesar 2,96 % dan diagram fasa Al-Cu yang terdapat pada gambar 2.14, maka kondisi paduan ini berada pada daerah $\text{Al} + \theta$, dimana θ akan berdifusi keluar matriks membentuk endapan Al_2Cu . Sehingga peningkatan kekerasan akibat proses perlakuan panas T6 disebabkan karena pembentukan endapan Al_2Cu .

4.6.2 Pengamatan SEM dan EDS pada Aluminium AC8H Modifier 0,031% Stronsium

Pengamatan SEM terhadap fasa fasa yang terjadi pada sampel aluminium AC8H modifier stronsium 0,031% dapat dilihat pada Gambar 4.16, sementara analisa komposisi kimia hasil EDS dari gambar tersebut

ditampilkan pada Tabel 4.14.



Gambar 4.16 Foto Struktur Mikro AC8H dengan penambahan *modifier* Stronsium 0,031%

Tabel 4.14 Hasil analisa komposisi paduan Aluminium AC8H dengan penambahan *modifier* Stronsium 0,031% dengan EDS

No	% Berat unsur					Warna	Indikasi Fasa terbentuk
	Al	Si	Cu	Mg	C		
1	90,82	1,71	6,24	--	1,22	Abu abu tua	Matriks Al-Si-Cu
2	9,25	89,16	--	--	1,59	Abu abu	Kristal Silikon
3	19,10	15,62	37,54	27,03	0,71	Abu abu muda	$\text{CuAl}_2\text{Mg}_2\text{Si}$
4	40,95	12,09	29,84	15,92	1,20	Putih	AlCuSiMg
5	36,91	0,63	62,19	--	0,26	Putih	CuAl_2

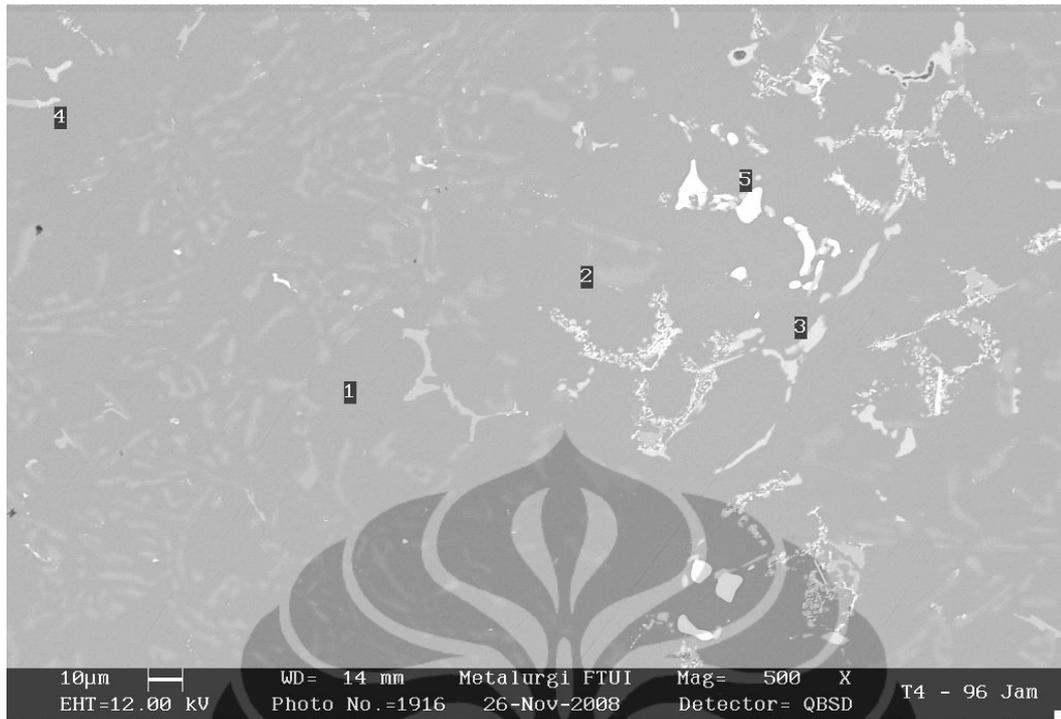
Secara umum fasa yang terbentuk pada paduan Aluminium AC8H dengan penambahan modifier Stronsium sebanyak 0,031% sama dengan fasa yang terbentuk pada saat kondisi T 6. Dimana terbentuk fasa-fasa seperti matriks Aluminium yang mengandung Si dan Cu, kristal silikon, $\text{CuAl}_2\text{Mg}_2\text{Si}$, AlCuSiMg dan CuAl_2 . Fasa interdendritik yang hadir kristal silikon, $\text{CuAl}_2\text{Mg}_2\text{Si}$,

AlCuSiMg dan CuAl₂ yang tersebar dalam matriks Al-Si-Cu. Pada paduan ini selain fasa kristal silikon yang tersebar merata terbentuk juga fasa CuAl₂Mg₂Si yang berwarna abu abu muda, dimana fasa ini mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap kekerasan dari paduan yang dihasilkan^[19]. Dalam matrik Al-Si-Cu paduan modifier 0,031% Sr terdapat fasa CuAl₂ yang berwarna putih , dimana konsentrasi penyebaran fasa ini lebih merata pada dibanding penyebaran fasa CuAl₂ sampel paduan T6. Seperti fasa CuAl₂Mg₂Si fasa CuAl₂ berfungsi meningkatkan kekerasan serta kekuatan paduan^[19].

4.6.3 Pengamatan SEM dan EDS pada Aluminium AC8H T4-96 Jam

Hasil pengamatan SEM pada sampel aluminium AC8H T4-96 Jam dapat dilihat pada Gambar 4.17 , sementara analisa komposisi kimia hasil EDS dari gambar tersebut ditampilkan pada Tabel 4.15.

Fasa yang terbentuk pada paduan aluminium AC8H T4-96 jam sama dengan fasa yang terbentuk pada saat kondisi T 6. Dimana terbentuk fasa-fasa seperti matriks aluminium yang mengandung Si dan Cu, kristal silikon, CuAl₂Mg₂Si, AlCuSiMg dan CuAl₂. Fasa interdendritik yang hadir Kristal silikon, CuAl₂Mg₂Si, AlCuSiMg dan CuAl₂ yang tersebar dalam matriks Al-Si-Cu. Bentuk morfologi fasa CuAl₂Mg₂Si yang terjadi pada kondisi T4-96 jam dibanding kondisi T6 relatif sama, hanya penyebarannya lebih merata (tidak terkonsentrasi disuatu tempat). Terkait dengan fasa CuAl₂ yang terbentuk ,% wt Cu dalam fasa CuAl₂ pada kondisi ini secara kuantitas hampir sama dengan kondisi T6 . Bentuk fasa CuAl₂ pada kondisi T4-96 jam cenderung berbentuk seperti kotak (*blocky shape*) dibanding pada kondisi T6 , sementara jumlah fasa yang terbentuk persatuan luas area pada T4-96 jam lebih banyak dibandingkan T6. Jumlah fasa CuAl₂ yang lebih banyak dan menyebar dimungkinkan karena waktu ageing pada T4-96 jam memberikan waktu inkubasi yang cukup untuk terbentuknya presipitat CuAl₂. Presipitat CuAl₂ akan meningkatkan sifat mekanik paduan ini.



Gambar 4.17 Foto Struktur Mikro AC8H kondisi T4-96 Jam

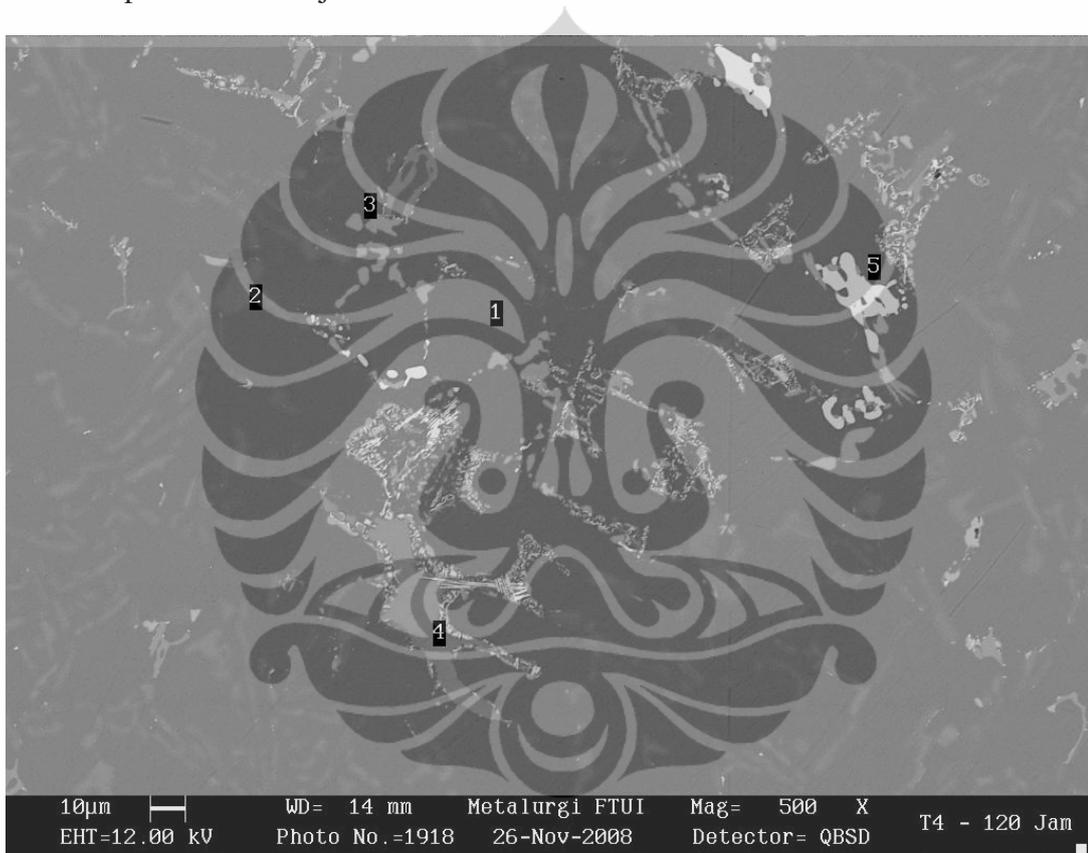
Tabel 4.15 Hasil analisa komposisi paduan aluminium AC8H kondisi T4-96 Jam dengan EDS

No	% Berat unsur					Warna	Indikasi Fasa Terbentuk
	Al	Si	Cu	Mg	C		
1	91,85	1,81	5,44	--	0,90	Abu abu tua	Matriks Al-Si-Cu
2	3,68	95,06	--	--	1,26	Abu abu	Kristal Silikon
3	16,55	16,67	38,55	27,80	0,43	Abu abu muda	Cu_2AlMg_2Si
4	64,27	8,34	17,56	9,03	0,80	Abu abu muda	AlCuSiMg
5	32,12	0,31	67,36	--	0,20	putih	Cu_2Al

4.6.4 Pengamatan SEM dan EDS pada Aluminium AC8H T4-120 Jam

Pengamatan SEM pada sampel aluminium AC8H T4-10 Jam dapat dilihat pada Gambar 4.17, sementara analisa komposisi kimia hasil EDS dari gambar tersebut ditampilkan pada Tabel 4.16.

Hasil pengamatan terhadap fasa fasa yang terbentuk pada paduan Aluminium T4-120 jam secara umum fasa fasa yang terbentuk sama dengan fasa fasa yang ada pada kondisi T6 . Dimana dalam matrik Al-Si-Cu terdapat beberapa fasa interdendritik yang ikut hadir , perbedaan yang mungkin dapat diamati adalah semakin banyaknya fasa $\text{CuAl}_2\text{Mg}_2\text{Si}$, AlCuSiMg dan terutama CuAl_2 yang tersebar dalam matriks Al-Si-Cu dibandingkan kondisi T4-96 jam dan T6. Fasa fasa tersebut yang nantinya akan dapat berkontribusi pada pembentukan sifat mekanik paduan T4-120jam.



Gambar 4.18 Foto Struktur Mikro AC8H kondisi T4-120 Jam

Tabel 4.16 Hasil analisa komposisi paduan aluminium AC8H T4-120 Jam dengan EDS

No	% Berat unsur					Warna	Indikasi Fasa terbentuk
	Al	Si	Cu	Mg	C		
1	88,43	1,46	9,21	--	0,90	Abu abu tua	Matriks Al-Si-Cu
2	24,72	74,31	--	--	0,97	Abu abu	Kristal Silikon
3	16,43	16,26	39,26	27,42	0,63	Abu abu muda	Cu ₂ AlMg ₂ Si
4	84,62	3,44	10,68	0,49	0,77	Abu abu muda	AlCuSiMg
5	31,74	0,33	67,69	--	0,24	putih	Cu ₂ Al

Dari hasil pengamatan keseluruhan terhadap fasa fasa yang terbentuk pada paduan aluminium AC8H T6, paduan AC8H *modifier* 0,031 Sr maupun paduan AC8H T4-96 jam dan 120 jam secara umum fasa fasa yang terbentuk sama.

Fasa-fasa yang terbentuk adalah, matriks aluminium yang mengandung Si dan Cu, Kristal silikon, CuAl₂Mg₂Si, AlCuSiMg dan CuAl₂. Fasa interdendritik yang hadir Kristal silikon, CuAl₂Mg₂Si, AlCuSiMg dan CuAl₂ yang tersebar dalam matriks Al-Si-Cu.

4.7 PERHITUNGAN BIAYA PROSES PRODUKSI.

Pada perhitungan biaya proses produksi , penelitian ini akan membandingkan antara biaya yang dikeluarkan untuk proses produksi komponen piston melalui proses perlakuan panas T6 dan T4 serta melalui proses penambahan *modifier* 0,031 % Sr.

4.7.1 Perbandingan Biaya Proses Produksi T6 dan T4

Dalam membandingkan biaya proses T6 (*artificial ageing*) dan T4 (*natural ageing*) terdapat perbedaan mendasar dari keduanya, hal tersebut terkait dari lamanya waktu yang diperlukan untuk 1 *cycle* proses. Dimana waktu yang

diperlukan untuk 1 cycle proses T6 (*artificial ageing*) adalah 11 jam dengan jumlah produksi 1000 pcs, sementara 1 cycle proses T4 (*natural ageing*) dengan jumlah produksi 100 pcs adalah 5 jam.

Perbedaan waktu proses kerja untuk menghasilkan jumlah produk yang sama akan berdampak pada : *electric cost* , *air cost* , *water cost* , *maintenance cost* , *direct cost manpower* serta *machine depreciation cost* pada proses T6 (*artificial ageing*) menjadi lebih tinggi dibanding pada proses T4 (*natural ageing*).

Definisi dibawah ini akan membantu menjelaskan mengapa biaya proses T6 (*artificial ageing*) lebih tinggi dibandingkan proses T4 (*natural ageing*).

- *Electric cost* :

$$\frac{\text{konsumsi listrik (kwh)} \times \text{harga listrik (Rp/kwh)} \times \text{waktu dalam 1 cycle (jam)}}{\text{Jumlah produk yang dihasilkan dalam 1 cycle (pcs)}}$$

- *Air cost* :

$$\frac{\text{konsumsi angin(m3/jam)} \times \text{harga angin(Rp/m3)} \times \text{waktu dalam 1 cycle (jam)}}{\text{Jumlah produk yang dihasilkan dalam 1 cycle (pcs)}}$$

- *Water cost* :

$$\frac{\text{konsumsi air (m3/jam)} \times \text{harga air (Rp/m3)} \times \text{waktu dalam 1 cycle (jam)}}{\text{Jumlah produk yang dihasilkan dalam 1 cycle (pcs)}}$$

- *Maintenance cost* :

$$\frac{\text{Biaya maintenance (Rp/jam)} \times \text{waktu dalam 1 cycle (jam)}}{\text{Jumlah produk yang dihasilkan dalam 1 cycle (pcs)}}$$

- *Direct cost manpower* :

$$\frac{\text{Jumlah manpower (orang/jam)} \times \text{Gaji (Rp/orang)} \times \text{waktu dalam 1 cycle (jam)}}{\text{Jumlah produk yang dihasilkan dalam 1 cycle (pcs)}}$$

- *Machine depreciation cost* :

$$\frac{\text{Harga mesin (Rp)} \times \text{waktu dalam 1 cycle (jam)}}{\text{Umur mesin (jam)} \times \text{jumlah produk yang dihasilkan dalam 1 cycle}}$$

- *Warehouse cost* :

$$\frac{\text{Biaya sewa gudang (Rp/m2)} \times \text{luas yang diperlukan (m2)}}{\text{Jumlah produk yang disimpan (pcs)}}$$

Tabel 4.17 Variabel data Perhitungan Biaya Proses Perlakuan Panas

ITEM	STANDAR	
Harga listrik	Rp / kwh	585
Harga angin	Rp / jam	47
Harga air	Rp / m ³	15,500
Biaya maintenance	Rp / jam	400
Upah karyawan	Rp / jam	4,167
Jumlah manpower	orang /jam	3
Biaya sewa gudang	Rp / tahun	103,500,000
Kapasitas gudang	tahun / pcs	250,000
Harga mesin per des 2008	Rp	70,000,000
Konsumsi listrik mesin	kwh	40
Konsumsi angin mesin	(m ³ /jam)	14
Konsumsi air mesin	(m ³ /jam)	0

Dari penjelasan definisi diatas dan berdasarkan data data perhitungan biaya perlakuan panas , Tabel 4.17 maka kita dapat menghitung perbandingan biaya proses perlakuan panas T 6 (*artificial ageing*) dan T4 (*natural ageing*).

Tabel 4.18 Perbandingan Biaya Proses Perlakuan Panas T6 dan T4

BIAYA PROSES HEAT TREATMENT T-6		BIAYA PROSES HEAT TREATMENT T-4	
Cycle Time Proses	11 jam/proses	Cycle Time Proses	5 jam/proses
Kapasitas Mesin	1,000 pcs/proses	Kapasitas Mesin	1,000 pcs/proses
1 Cost Utility		1 Cost Utility	
Electric Consumption	40 kWh	Electric Consumption	40 kWh
Electric Cost unit	585 Rp/kWh	Electric Cost unit	585 Rp/kWh
Electric Cost	257.55 Rp/part	Electric Cost	117.07 Rp/part
Air Consumption	238 ltr/minute	Air Consumption	238 ltr/minute
Air Cost unit	47 Rp/m3/jam	Air Cost unit	47 Rp/m3/jam
Air Cost	7.32 Rp/part	Air Cost	3.33 Rp/part
Water Consumption	0.09 m3/jam	Water Consumption	0.09 m3/jam
Water Cost unit	15,500 Rp/m3	Water Cost unit	15,500 Rp/m3
Water Cost	15.22 Rp/part	Water Cost	6.92 Rp/part
2 Cost Depresiasi Mesin		2 Cost Depresiasi Mesin	
Harga beli mesin	70,000,000 Rp/mc	Harga beli mesin	70,000,000 Rp/mc
Lifetime mesin	8 tahun	Lifetime mesin	8 tahun
Depresiasi	999 Rp/jam	Depresiasi	999 Rp/jam
MC Depreciation Cost	10.99 Rp/part	MC Depreciation Cost	4.99 Rp/part
3 Maintenance Cost		3 Maintenance Cost	
Maintenance Cost	3,500,000 Rp/year	Maintenance Cost	3,500,000 Rp/year
Maintenance Cost	400 Rp/jam	Maintenance Cost	400 Rp/jam
Maintenance Cost	4.39 Rp/part	Maintenance Cost	2.00 Rp/part
4 Cost Direct Man Power		4 Cost Direct Man Power	
Jumlah MP	3 orang	Jumlah MP	3 orang
Cost MP	1,000,000 Rp/orang/bulan	Cost MP	1,000,000 Rp/orang/bulan
Cost MP	4,167 Rp/jam	Cost MP	4,167 Rp/jam
Cost MP	45.83 Rp/part	Cost MP	20.83 Rp/part
5 Cost Warehouse		5 Cost Warehouse	
	- Rp/part		4.32 Rp/part
TOTAL COST PROSES	341.31 Rp/part	TOTAL COST PROSES	159.46 Rp/part

4.7.2 Perbandingan Biaya Proses Produksi T6 dan Modifier 0,031 % Sr

Dalam membandingkan biaya proses T6 (*artificial ageing*) dan proses penambahan *modifier* 0,031% Sr kita tinggal menghitung biaya proses terkait dengan penambahan *modifier* 0,031% Sr , karena untuk perhitungan biaya proses T6 sama dengan rincian terdahulu , Tabel 4.18.

Perhitungan biaya proses penambahan *modifier* dihitung pada dua aspek yaitu *cost modifier stronsium* dan *cost depreciation tools*.

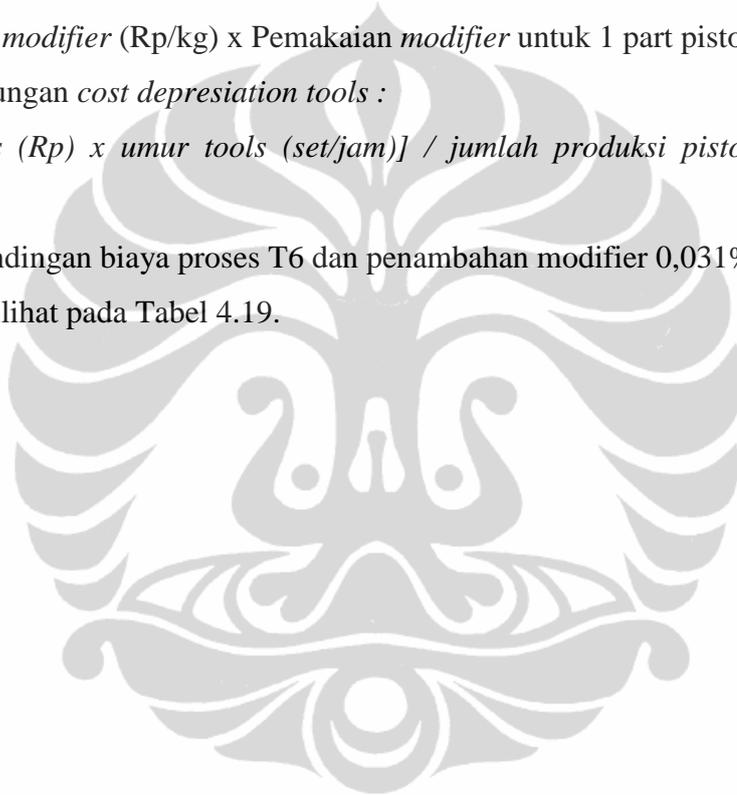
Untuk perhitungan *cost modifier stronsium* :

Harga *modifier* (Rp/kg) x Pemakaian *modifier* untuk 1 part piston (kg/part)

Untuk perhitungan *cost depreciation tools* :

$[\text{Harga Tools (Rp)} \times \text{umur tools (set/jam)}] / \text{jumlah produksi piston per jam (pcs/jam)}$

Perbandingan biaya proses T6 dan penambahan *modifier* 0,031% Sr secara detail dapat dilihat pada Tabel 4.19.



Tabel 4.19 Perbandingan Biaya Proses Perlakuan T6 dan Proses penambahan modifier 0,031% Sr

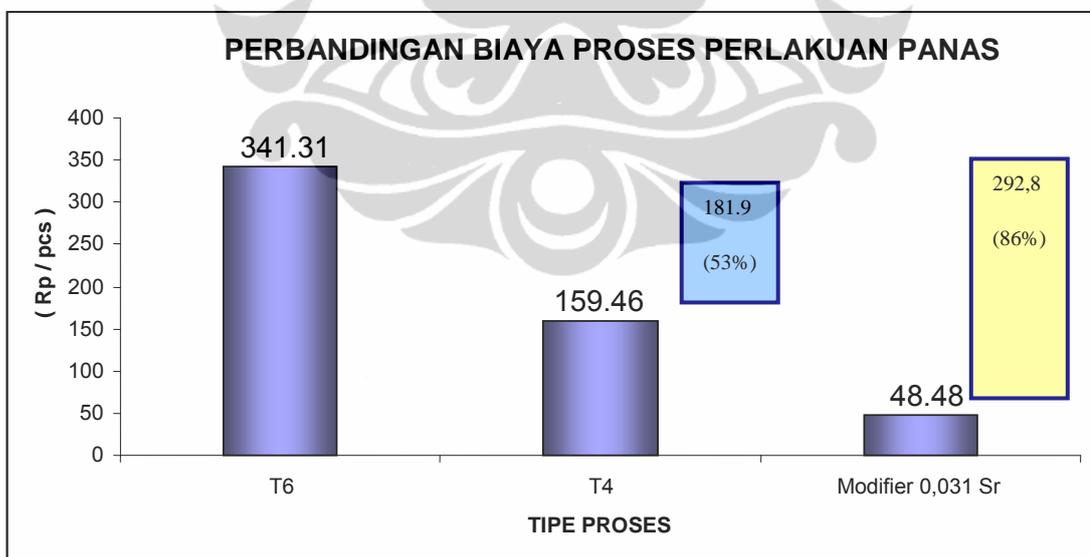
BIAYA PROSES HEAT TREATMENT T-6		BIAYA PROSES MODIFIER	
Cycle Time Proses	11 jam/proses	Cycle Time Proses	- jam/proses
Kapasitas Mesin	1,000 pcs/proses	Kapasitas Mesin	- pcs/proses
1 Cost Utility		1 Cost Modifier Stronsium	
Electric Consumption	40 kWh	Harga Modifier	25,000 Kg
Electric Cost unit	585 Rp/kWh	Pemakaian modifier	0.00192 Kg/ part
Electric Cost	257.55 Rp/part	Modifier Cost	47.88 Rp/part
Air Consumption	238 ltr/minute		
Air Cost unit	47 Rp/m3/jam		
Air Cost	7.32 Rp/part		
Water Consumption	0.09 m3/jam		
Water Cost unit	15,500 Rp/m3		
Water Cost	15.22 Rp/part		
2 Cost Depresiasi Mesin		2 Cost Depresiasi Tools	
Harga beli mesin	70,000,000 Rp/mc	Harga beli tools	45,000 Rp/set
Lifetime mesin	8 tahun	Lifetime tools	0.17 tahun
Depresiasi	999 Rp/jam	Depresiasi tools	30 Rp/jam
MC Depreciation Cost	10.99 Rp/part	Total depresiasi	0.60 Rp/part
3 Maintenance Cost			
Maintenance Cost	3,500,000 Rp/year		
Maintenance Cost	400 Rp/jam		
Maintenance Cost	4.39 Rp/part		
4 Cost Direct Man Power			
Jumlah MP	3 orang		
Cost MP	1,000,000 Rp/orang/bulan		
Cost MP	4,167 Rp/jam		
Cost MP	45.83 Rp/part		
5 Cost Warehouse			
	- Rp/part		
TOTAL COST PROSES	341.31 Rp/part	TOTAL COST PROSES	48.48 Rp/part

Dari data Tabel 4.18 Biaya proses yang diperlukan untuk proses perlakuan panas T6 sebesar : Rp 341,31,- / part , sementara untuk proses perlakuan panas T4 sebesar : Rp 159,46,- / part. Sehingga bila proses perlakuan panas menggunakan T4 biaya yang dapat dihemat (*saving cost*) sebesar : Rp 181,85,- / part , atau turun sekitar 53,1% (lihat Gambar 4.19). Penghematan biaya

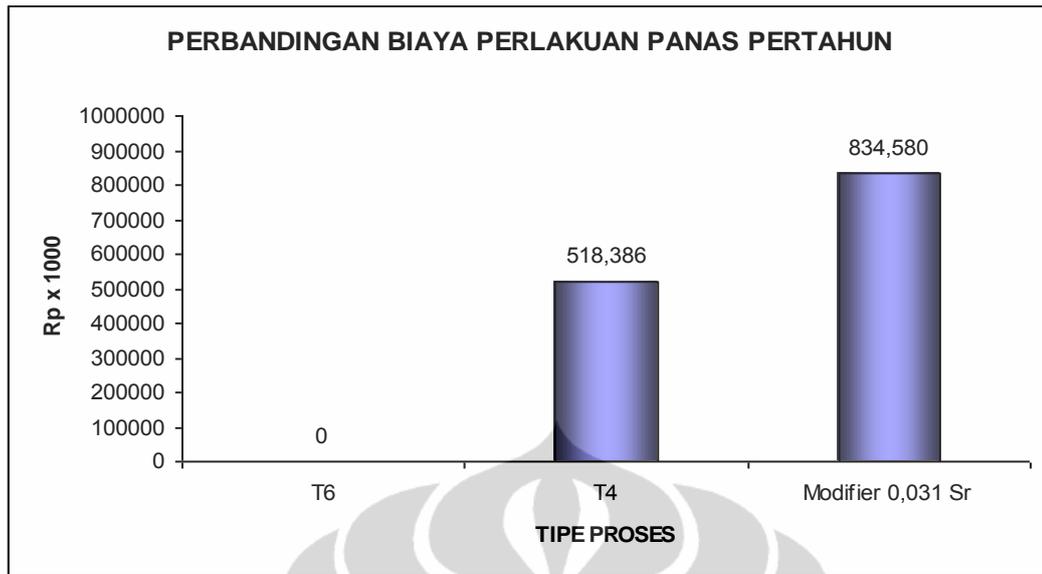
tersebut bila kita hitung dengan rencana produksi tahun 2008 di PT.X sebesar : 2.850.000 unit kendaraan roda dua , maka penghematan yang dapat kita dapat sebesar : Rp 518.386.500,- (Lima ratus delapan belas juta tiga ratus delapan puluh enam ribu lima ratus rupiah),(lihat gambar 4.20).

Dari data Tabel 4.19 Biaya proses yang diperlukan untuk proses perlakuan panas T6 sebesar : Rp 341,31,- / part , sementara untuk biaya proses penambahan *modifier* 0,031 Sr sebesar : Rp 48,48,- / part. Sehingga bila proses perlakuan panas T6 kita gantikan dengan proses modifier 0,031% Sr ,biaya yang dapat dihemat (*saving cost*) sebesar : Rp 292,83 ,-/ part , atau turun sekitar 86% (lihat Gambar 4.19).

Penghematan biaya tersebut bila kita hitung dengan rencana produksi tahun 2008 di PT.X sebesar : 2.850.000 unit kendaraan roda dua , maka penghematan yang dapat kita dapat sebesar : Rp 834.580.743,- (Delapan ratus tiga puluh empat juta lima ratus delapan puluh ribu tujuh ratus empat puluh tiga rupiah), (lihat Gambar 4.20).



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Biaya Proses Perlakuan Panas



Gambar 4.20 Grafik Penghematan Biaya Perlakuan Panas Pertahun

Setelah membandingkan biaya proses perlakuan panas T6 (*artificial ageing*) dengan T4 (*natural ageing*) serta *modifier* 0,031% Sr maka didapat penghematan biaya yang sangat besar bila kita dapat menggantikan atau mensubstitusi proses perlakuan panas T6 dengan T4 atau T6 dengan *modifier* 0,031% Sr.

Untuk keperluan produksi masal, penggantian proses perlakuan panas tersebut dapat dilakukan setelah produk yang dihasilkan diuji melalui *engine dyno test*. *Engine dyno test* adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui *durability* atau ketahanan *engine* terhadap perubahan temperatur dan *vibration* selama 200 jam. Pada pengujian ini *engine* akan diuji melalui mekanisme top speed dan top gear kemudian setelah 200 jam akan kita amati atau evaluasi. Item item yang dievaluasi meliputi : power engine , kondisi abnormal seperti kebocoran oli, perubahan dimensi, *vibration* dan jumlah pemakaian oli ^[32].