

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL DAN ANALISA KOMPOSISI KIMIA

4.1.1 Komposisi Kimia Material AC8H

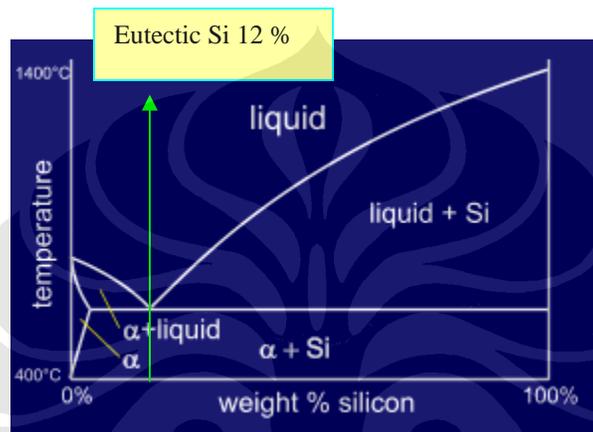
Pengujian komposisi kimia dari material AC8H yang digunakan untuk pembuatan piston dengan menggunakan alat spektrometer ditampilkan pada Tabel 4.1, sedangkan data mentah hasil pengujian terdapat pada lampiran. Pengujian komposisi kimia dengan menggunakan spektrometer ini sesuai dengan metodologi penelitian pada Bab 3 yaitu dilakukan saat sebelum proses pengecoran, dimana AC8H masih dalam bentuk molten dan dituang pada cetakan spektrometer.

Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi kimia material AC8H penelitian ini beserta komposisi kimia AC8H standar PT.X

MELTING			
AKTUAL		STANDAR QA PT. X	
Si	: 11,347	Si	: 10,50 ~ 11,50
Mg	: 1,003	Mg	: 0,70 ~ 1,30
Cu	: 2,961	Cu	: 2,50 ~ 3,50
Zn	: 0,02	Zn	: 0,10 ~ Max
Fe	: 0,16	Fe	: 0,40 ~ Max
Mn	: 0,023	Mn	: 0,10 ~ Max
Ni	: 0,079	Ni	: 0,10 ~ Max
Ti	: 0,234	Ti	: 0,20 ~ 0,30
Pb	: 0,033	Pb	: 0,05 ~ Max
Sn	: 0,010	Sn	: 0,05 ~ Max
Cr	: 0,010	Cr	: 0,05 ~ Max

Pada Tabel 4.1 diatas terlihat bahwa komposisi kimia material AC8H untuk pembuatan piston berstatus OK karena semua unsur kimia telah masuk standar atau didalam range QA dari PT. X tersebut, sehingga hal ini mengindikasikan bahwa material AC8H yang dipakai untuk penelitian ini sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.

Pada Tabel 4.1 komposisi diatas kandungan Si pada material AC8H berada pada nilai 11,347 % yang berarti kondisi material AC8H ini berada pada kondisi sedikit hypoeutektic seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Diagram Fasa Al-Si[9]

Seperti pada pembahasan sebelumnya pada daerah hipoeutektik, kandungan Si kurang dari 12 % [8]. Dapat dipastikan Si terlarut semua. Keuntungan dari aluminium yang memiliki kondisi hipoeutektik adalah: machinability lebih baik dan ketangguhan lebih baik. Sedangkan kerugiannya adalah kekuatan dan kekerasan lebih rendah. Sehingga bila diaplikasikan dalam industri manufaktur piston, produk akhir akan memiliki kekerasan yang tidak optimal (cenderung tidak keras) [11], untuk itu dilakukanlah proses heat treatment untuk meningkatkan kekerasan dari piston itu sendiri.

4.1.2 Perbandingan Komposisi Kimia AC8H Aktual Dengan Komposisi Kimia Standar AA 336.0, AC8A, dan AC8H

Berdasarkan Tabel 4.2 dapat kita lihat bahwa AC8H aktual memenuhi semua komposisi kimia standar AC8H, tetapi AC8H aktual tidak memenuhi semua komposisi kimia standar AA 336.0 dan AC8A, yaitu pada unsur Cu dan Ni.

AC8H aktual menunjukkan kandungan unsur Cu sebesar 2,961 % yang artinya kandungan Cu berada diatas standar AA 336.0 (0,5 ~ 1,5) dan juga berada diatas standar AC8A (0,8 ~ 1,3), sedangkan untuk kandungan Ni pada AC8H aktual yaitu sebesar 0,079 yang artinya kandungan Ni AC8H aktual berada dibawah standar AA336.0 (2,00 ~ 3,00) dan juga berada dibawah standar AC8A (1,0 ~ 2,5).

Tabel 4.2 Perbandingan standar komposisi kimia AA 336.0, AC8A, dan AC8H, dan hasil aktual material AC8H[6][7]

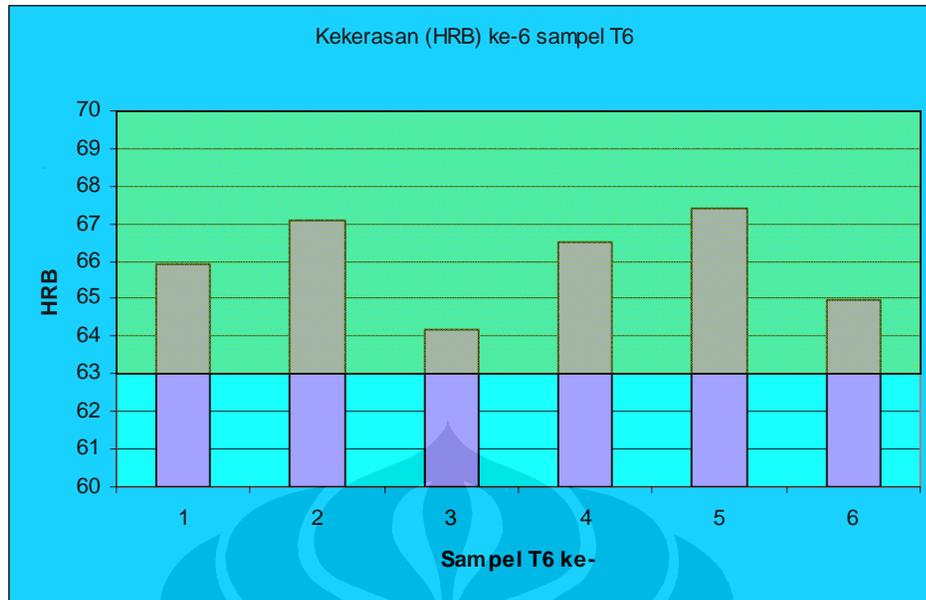
	Standard Komposisi Kimia Material			Komposisi Kimia
	AA 336.0	AC8A	AC8H	AC8H Aktual
Si	11.00 ~ 13,00	11.00 ~ 13,00	10,50 ~ 11,50	11,347
Mg	0,7 ~ 1,3	0,7 ~ 1,3	0,70 ~ 1,30	1,003
Cu	0,5 ~ 1,5	0,8 ~ 1,3	2,50 ~ 3,50	2,961
Zn	0,35 ~ Max	0,1 ~ Max	0,10 ~ Max	0,02
Ni	2,00 ~ 3,00	1,0 ~ 2,5	0,10 ~ Max	0,079
Fe	1,2 ~ Max	0,8 ~ Max	0,40 ~ Max	0,16

Kandungan AC8H aktual yang tidak memenuhi semua standar AA 336.0 dan AC8A diperkirakan tidak mempengaruhi secara signifikan pada sifat mekanis material dengan standar AC8A dan AA336.0, karena kandungan Cu hanya sedikit diatas standar yang ditentukan dan kadar Ni hanya sedikit berada dibawah standar yang telah ditentukan, sehingga sifat mekanisnya antara AC8H aktual diperkirakan akan mirip dengan material standar AA 336.0 dan AC8A.

4.2 HASIL DAN ANALISA UJI KEKERASAN

4.2.1 Uji Kekerasan Sampel T6

Sesuai yang telah dibahas pada metodologi penelitian pada bab 3, piston yang telah mengalami proses T6 (standar proses produksi piston) dilakukan uji kekerasan pada ke-6 sampel piston dengan data diperlihatkan pada grafik dibawah.



Gambar 4.2. Grafik data kekerasan ke-6 sampel piston yang telah mengalami proses T6

Keterangan:

 Adalah area standar kekerasan yaitu 63- 70 HRB

Tabel 4.3 Tabel data kekerasan ke-6 sampel piston yang telah mengalami proses T6

No	Sampel	Kekerasan (HRB)
1	T6 sampel 1	65.9
2	T6 sampel 2	67.1
3	T6 sampel 3	64.2
4	T6 sampel 4	66.5
6	T6 sampel 6	65
5	T6 sampel 5	67.4
RATA-RATA		66,01

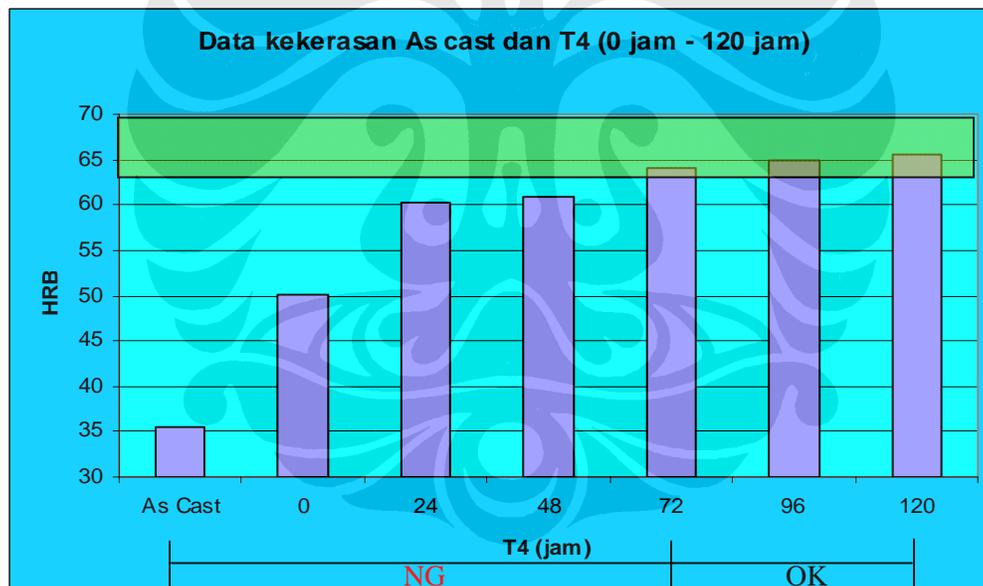
Pada pengujian kekerasan yang dilakukan ke-6 sampel piston yang telah dilakukan proses T6 menunjukkan ke-6 sampel piston seluruhnya masuk pada range standar yang telah ditetapkan yaitu 63 – 70 HRB, hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2. Hal ini menunjukkan bahwa piston hasil proses T6 telah mengalami proses yang

sempurna, karena ke-6 sampel proses T6 seluruhnya masuk dalam standar yang telah ditentukan.

4.2.2 Uji Kekerasan Sampel T4

Pengujian kekerasan piston sampel T4 (*natural ageing*) diuji setelah dilakukan proses *quenching* mulai sampel 0 jam setelah proses *quenching* sampai sampel 120 jam setelah proses *quenching*, dan dilakukan setiap 24 jam dengan total 6 sampel yang berbeda sampai jam ke-120.

Berdasarkan pada grafik dibawah terlihat bahwa piston AC8H *as cast* memiliki kekerasan jauh dibawah standar (35,5 HRB) yang telah ditentukan, yaitu 63- 70 HRB, sedangkan pada sampel piston T4 (*natural ageing*) menunjukkan peningkatan kekerasan mulai pada *natural ageing* 0 jam sampai *natural ageing* setelah 120 jam.



Gambar 4.3. Grafik data kekerasan sampel *natural ageing* (T4) setelah 0 jam sampai 120 jam dan sampel as cast

Keterangan:

 Adalah area standar kekerasan yaitu 63- 70 HRB

Tabel 4.4 Tabel data kekerasan sampel *natural ageing* (T4) setelah 0 jam sampai 120 jam dan sampel *as cast*

No	Sampel	Kekerasan (HRB)
1	As Cast	35.5
2	T4- 0 jam	50.1
3	T4- 24 jam	60.2
4	T4- 48 jam	61
5	T4- 72 jam	64.1
6	T4- 96 jam	64.9
7	T4-120 jam	65.6

Keterangan:

 Adalah sampel yang menunjukkan bahwa kekerasan telah masuk range standar (63-70 HRB)

Berdasarkan data pada grafik diatas, dapat dilihat bahwa kekerasan meningkat mulai dari sampel 0 jam setelah *quenching* sampai sampel 120 jam setelah *quenching*, hal ini menunjukkan bahwa material piston AC8H dapat dilakukan proses T4 (*natural ageing*) untuk meningkatkan kekerasannya, bahkan dapat mencapai kekerasan standar yang telah ditentukan yaitu 63-70 HRB.

Dari segi kekerasan, piston hasil proses T4 (*natural ageing*) ternyata mampu mencapai kekerasan standar (63 – 70 HRB) setelah 72 jam dengan nilai kekerasan sebesar 64,1 HRB dan bahkan mampu mencapai kekerasan piston yang mengalami proses T6 (*artificial ageing*) yaitu sekitar 65 HRB setelah 120 jam proses *quenching* (proses T4). Seperti terlihat pada gambar 4.3.

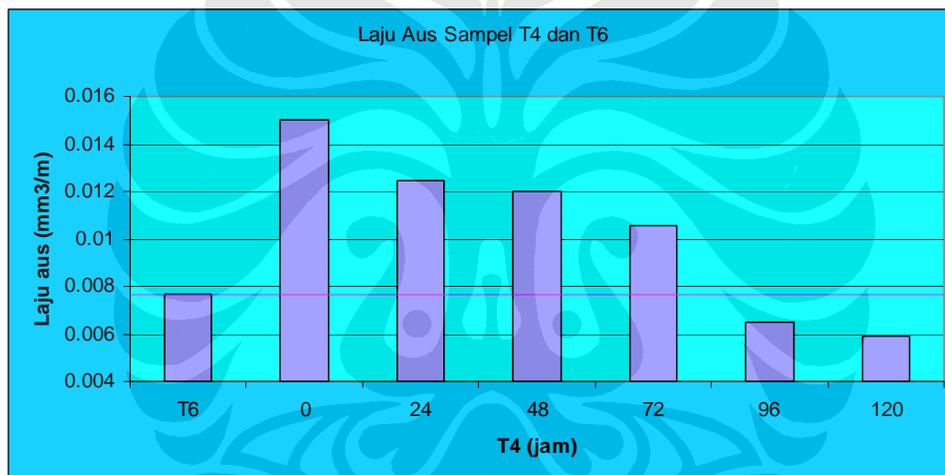
Kekerasan yang memadai sangat dibutuhkan piston mengingat piston merupakan part yang selalu bergerak sehingga memungkinkan piston akan selalu berbenturan dengan *cylinder head*. Dilihat dari segi kekerasan, proses T4 (*natural ageing*) mampu menggantikan proses T6 (*artificial ageing*) setelah 120 jam.

Menurut literatur yang ada, peningkatan kekerasan proses *ageing* T4 maupun T6 disebabkan karena proses pembentukan dari presipitat yang terdispersi secara merata selama proses *ageing*. Presipitat yang mungkin terbentuk adalah CuAl_2 dan Mg_2Si [14] yang bersifat keras mengingat 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-presipitat tersebut terdispersi secara merata pada batas butir yang nantinya akan menghalangi laju dislokasi sehingga material akan mengalami pengerasan presipitasi.

4.3 HASIL DAN ANALISA UJI KEAUSAN (WEAR)

4.3.1 Hasil dan analisa laju aus sampel T4 dan T6



Gambar 4.4. Grafik data laju aus sampel *natural ageing* (T4) setelah 0 jam sampai 120 jam dan sampel T6

Tabel 4.5 Tabel data keausan sampel *natural ageing* (T4) setelah 0 jam sampai 120 jam dan sampel T6

Sampel	b (mm)	W (mm ³)	Laju Aus (mm ³ /m)
T4- 0 jam	5.647	3.001	0.015
T4- 24 jam	5.307	2.491	0.012
T4- 48 jam	5.241	2.399	0.011
T4- 72 jam	5.019	2.107	0.010
T4- 96 jam	4.278	1.304	0.006
T4-120 jam	4.138	1.180	0.005
T6	4.519	1.538	0.007

Ket:

b :Lebar celah yang terabrasi

W :Volume yang terabrasi

Sesuai yang telah dibahas pada metodologi penelitian pada bab 3, pengujian keausan piston *as cast*, *artificial ageing* (T6), dan T4 (*natural ageing*) mulai sampel 0 jam setelah proses *quenching* sampai sampel 120 jam setelah proses *quenching*, dan dilakukan setiap 24 jam dengan total 6 sampel yang berbeda sampai jam ke-120 seperti ditunjukkan pada tabel 4.5.

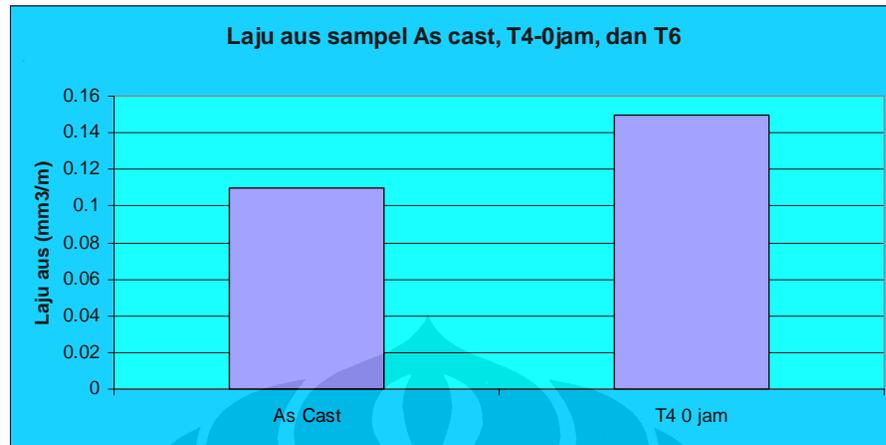
Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa laju aus sampel *natural ageing* (T4) mulai 0 jam sampai setelah 120 jam ternyata mengalami penurunan laju aus, sedangkan laju keausan sampel T6 diperlihatkan oleh garis merah muda pada grafik.

Nilai laju aus sampel T6 dijadikan nilai standar piston mengingat belum adanya standar laju keausan pada piston. Pada grafik diatas juga terlihat bahwa mulai sampel T4 mampu memiliki nilai laju keausan dibawah laju aus T6 pada sampel T4 setelah 96 jam 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.

Ketahanan aus sangat penting bagi part piston dikarenakan piston sangat mungkin bergesekan dengan dinding *cylinder head* karena gerakannya yang naik turun. Untuk itu piston membutuhkan material yang memiliki ketahanan aus yang baik untuk mempertahankan dimensinya sehingga piston dapat bekerja secara optimal.

4.3.2 Analisa perbandingan laju aus sampel *As cast* dan T4-0 jam



Gambar 4.5 Grafik data laju aus sampel as cast, T4-0 jam, dan sampel T6

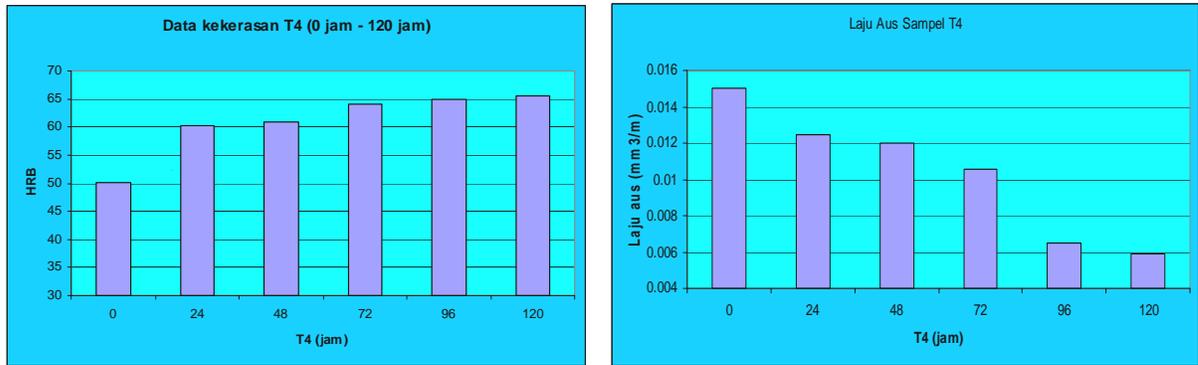
Tabel 4.6 Tabel data keausan sampel *natural ageing* (T4) setelah 0 jam sampai 120 jam dan sampel T6

Sampel	Laju aus
As Cast	0.11
T4 0 jam	0.15

Nilai laju aus sampel *as cast* seperti grafik diatas lebih rendah daripada sampel T4 0 jam (*as quench*) yang artinya sampel *as cast* memiliki ketahanan aus yang lebih baik daripada sampel *as quench* (T4), hal ini dikarenakan sampel *as quench* telah mengalami proses solution treatment dan terjadi spheroidisasi silikon yang akan dijelaskan pada pembahasan mikrostruktur.

4.3.3 Perbandingan hasil ketahanan aus dan kekerasan

Ketahanan aus berbanding lurus dengan kekerasan yang artinya semakin besar ketahanan ausnya maka semakin besar pula nilai kekerasannya. Grafik dibawah menjelaskan korelasi hasil uji ketahanan aus dan hasil uji kekerasan.

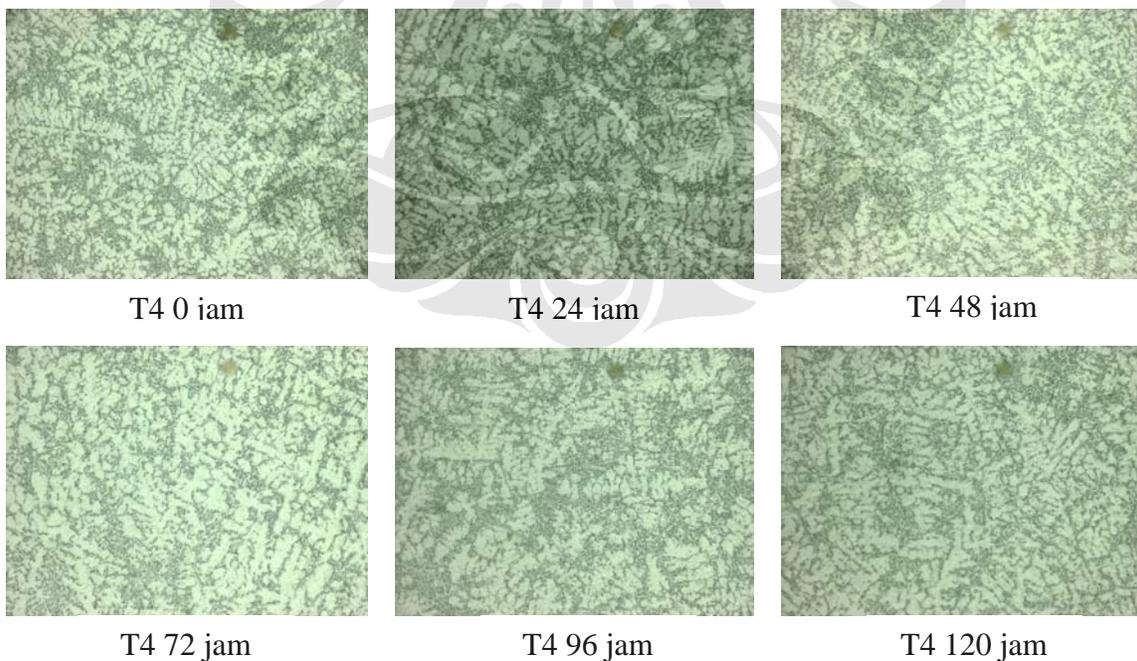


Gambar 4.6. Perbandingan grafik data keausan dan kekerasan sampel *natural* ageing (T4) setelah 0 jam sampai 120 jam

Berdasarkan perbandingan kedua grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan dan ketahanan aus pada penelitian ini berbanding lurus, yaitu nilai laju aus yang semakin menurun pada sampel T4 0 jam sampai sampel T4 120 jam yang artinya mengalami peningkatan ketahanan aus pada sampel T4 0 jam sampai sampel T4 120 jam dan untuk nilai kekerasan sampel T4 0 jam mengalami peningkatan kekerasan sampai sampel T4 120 jam.

4.4 HASIL DAN ANALISA FOTO MIKROSTRUKTUR

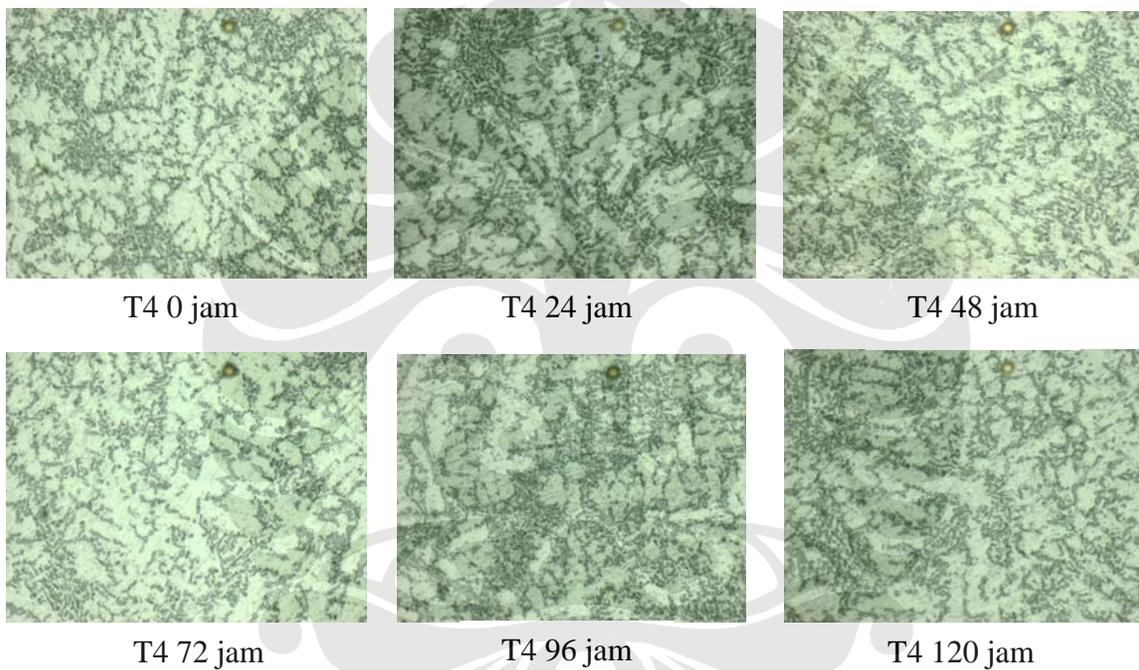
4.4.1 Hasil dan analisa mikrostruktur sampel T4 perbesaran 450 X dan 1000 X



Gambar 4.7. Foto mikrostruktur sampel T4 perbesaran 450 X dengan etsa HF 0,5% mulai 0 jam sampai 120 jam

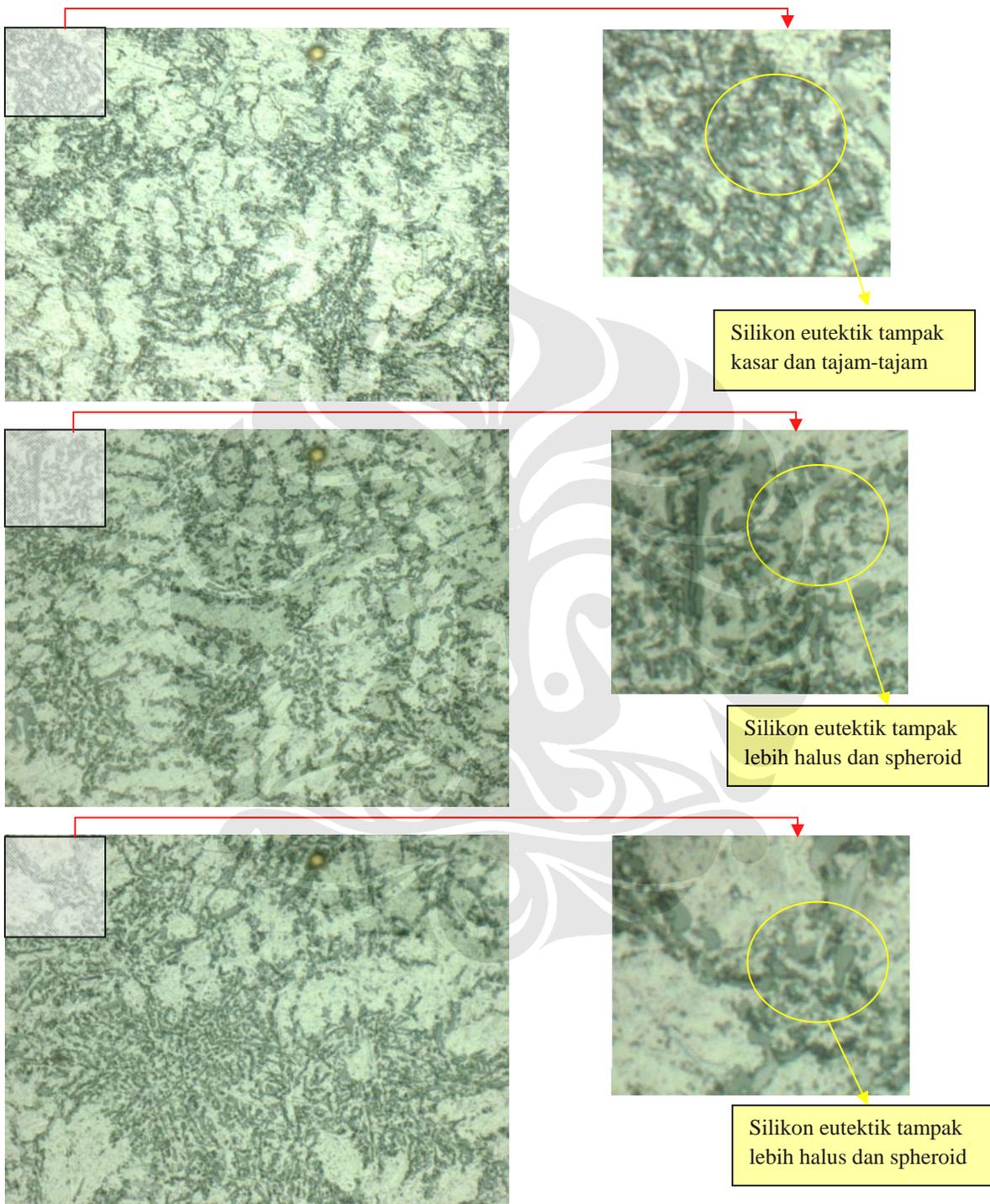
Pada gambar 4.7 diatas foto mikrostruktur sampel T4 perbesaran 450 X dengan etsa HF 0,5 % mulai 0 jam sampai 120 jam tidak mengalami perubahan mikrostruktur, hal ini dikarenakan proses *natural ageing* (T4) merupakan proses pembentukan dari presipitat yang terdispersi secara merata selama proses *ageing* 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 4.7 dibawah.



Gambar 4.8. Foto mikrostruktur sampel T4 perbesaran 1000 X dengan etsa HF 0,5% mulai 0 jam sampai 120 jam

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



Berdasarkan gambar 4.8 terlihat bahwa mikrostruktur *as cast* perbesaran 1000 X memiliki silikon eutektik yang lebih tajam seperti jarum dan kasar, sedangkan mikrostruktur sampel *natural ageing* (T4) dan sampel *artificial ageing* (T6) terlihat mirip dengan silikon eutektik yang lebih halus dan berbentuk *spheroid*. Perubahan fasa silikon eutektik ini disebabkan karena dilakukan proses *solution treatment* dan berpengaruh pada kekerasan keausan, kekuatan tarik, elongasi, dan lain-lain

Mengacu pada pembahasan ketahanan aus pada pembahasan bab 3.1 diatas, fenomena tersebut yang membuat ketahanan aus sampel *as cast* lebih baik daripada sampel *as quench* (T4 0 jam), karena sampel *as quench* telah mengalami proses *solution treatment* yang membuat bentuk fasa silikon eutektik lebih halus dan *spheroid* sehingga membuat sampel *as quench* menjadi kurang tahan aus dibanding sampel *as cast*. Tetapi sampel *as quench* yang mengalami proses *ageing* akan mengalami proses pengerasan presipitasi sehingga akhirnya setelah beberapa jam (120 jam) akhirnya dapat memiliki ketahanan aus yang lebih baik dari sampel *as cast* tersebut yang tidak mengalami pengerasan presipitasi. Begitupun juga yang terjadi pada sampel T6 yang mengalami pengerasan presipitasi sehingga ketahanan ausnya lebih baik dari sampel *as cast*

4.5 PERBANDINGAN BIAYA YANG DIKELUARKAN ANTARA PROSES T4 DAN T6

Proses T6 yang merupakan standar pembuatan piston pada PT. X memerlukan proses *artificial ageing*. Proses *artificial ageing* ini memakai oven dengan energi listrik sebagai sumber energinya. Oven ini memiliki spesifikasi pemakaian listrik sebesar 40 kW/h dan biaya pemakaian listrik industri sebesar Rp 585 / kWh. Produksi piston pada PT. X mencapai 2800 *piece* per hari, sedangkan kapasitas oven adalah 1400 *piece*, sehingga setiap harinya dilakukan dua kali proses *artificial ageing*. Proses *artificial ageing* sendiri sekali proses memakan waktu 5 jam dan jika 2 kali proses maka dibutuhkan 10 jam. Sehingga dalam setahun dibutuhkan biaya untuk proses *artificial ageing* sendiri melalui perhitungan berikut:

- Jumlah pemakaian listrik oven dalam sehari: $40 \text{ kW/h} \times 10 \text{ h} = \underline{400 \text{ kWh}}$
- Biaya pemakaian listrik oven dalam sehari: $400 \text{ kWh} \times \text{Rp } 585 / \text{kWh} = \underline{\text{Rp } 234.000,-}$
- Biaya pemakaian listrik oven dalam sebulan: $25 \text{ hari} \times \text{Rp } 234.000 = \underline{\text{Rp } 5.850.000,-}$

- Biaya pemakaian listrik oven dalam setahun: 12 bulan x Rp 5.850.000 = Rp 70.200.000,-

Berdasarkan perhitungan diatas didapat bahwa jumlah pengeluaran atau biaya untuk proses *artificial ageing* (T6) adalah sebesar Rp 70.200.000,- selama setahun.

Sedangkan untuk proses *natural ageing* hanya dibutuhkan tempat penyimpanan selama 3 hari atau selama 72 jam. Hal ini berdasarkan data kekerasan penelitian ini yaitu sampel piston *natural ageing* setelah 72 jam memiliki kekerasan standar yang telah ditentukan. Jadi tempat penyimpanan yang dibutuhkan adalah menampung sebanyak 3 hari dikali produksi piston selama sehari yaitu 2800 *piece* yaitu sebesar: $3 \times 2800 = 8400$ *piece* piston.

Piston dapat ditampung dalam basket bertingkat 4 (ditumpuk 4 tingkat) dengan kapasitas satu basket adalah 350 *piece* piston. Jadi dalam satu basket bertingkat 4 dapat menampung sebanyak 1400 *piece* piston. Selama 3 hari atau 8400 *piece* diperlukan 6 basket bertingkat 4.

Basket bertingkat 4 tersebut berbentuk lingkaran dengan jari-jari lingkaran 35 cm dan tinggi 30 cm. Jadi satu basket bertingkat 4 memiliki luas permukaan berikut:

- Luas permukaan satu basket tingkat 4 yaitu: $3,14 \times 35 \text{ cm} \times 35 \text{ cm} = 3846,5 \text{ cm}^2 = \underline{0,38465 \text{ m}^2}$
- Luas permukaan 6 basket tingkat 4 yaitu: $6 \times 0,38465 \text{ m}^2 = \underline{2,3079 \text{ m}^2}$
- Jika diasumsikan harga tanah adalah Rp 5 juta/ m^2 , maka harga tanah yang dibutuhkan untuk penampungan piston hasil *natural ageing* adalah sebesar Rp 5 juta/ $\text{m}^2 \times 2,3079 \text{ m}^2 = \underline{\text{Rp } 11.539.500,-}$

Jika kita bandingkan biaya dari kedua proses diatas terhitung bahwa proses T6 memerlukan biaya Rp 70.200.000,- per tahunnya, sedangkan proses T4 hanya membutuhkan Rp 11.539.500,- untuk pembelian tanah sebagai tempat penyimpanan, sedangkan kita ketahui membeli tanah bukan merupakan biaya tapi merupakan investasi dan nilai harga tanah biasanya semakin hari semakin naik nilainya.

Melihat perhitungan biaya yang dikeluarkan diatas menjadi jelas bahwa proses T4 jauh lebih hemat dan lebih efisien dibandingkan proses T6, sehingga dari segi biaya proses T4 lebih menguntungkan.