

PENGARUH PERLAKUAN PANAS AGING TERHADAP PERILAKU KOROSI PADUAN ALUMINIUM SERI 6061 DALAM LARUTAN 0,05M HCl

Mursalin^{1*}, Suminar Pratapa², Heny Faisal³

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia^{1*}
e-mail mursalin@physics.its.ac.id

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia²
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia³

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang perlakuan panas *artificial aging* pada paduan aluminium seri 6061. Proses perlakuan panas dilakukan pada temperatur 530°C dan *quenching* dengan media air pada temperatur kamar dan dilanjutkan proses *artificial aging* pada temperatur 180°C dengan variasi *holding time* 1 jam, 7 jam, 11 jam, dan 24 jam, terakhir didinginkan di udara bebas. Perlakuan panas *artificial aging* dapat meningkatkan kekerasan dan mempengaruhi perilaku korosi paduan aluminium seri 6061. Uji kekerasan menggunakan *Vickers Hardness*, uji korosi dilakukan dengan potensiostat dalam medium 0,05M HCl. Jenis-jenis korosi dan struktur mikro diamati dengan MO (Mikroskop Optik), SEM dan EDX, unsur-unsur kimia diamati dengan *XRF (X-Ray Fluorescence)*, sedangkan perubahan fase diamati dengan *XRD (X-ray diffraction)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, nilai kekerasan awal paduan aluminium seri 6061 yang dijadikan sampel adalah 71,7 VHN. Dan sesudah perlakuan panas *aging* kekerasan meningkat seiring meningkatnya *holding time* yang maksimum dicapai sebesar 38,21% pada *holding time* 11 jam dan kekerasannya turun pada *holding time* 24 jam dengan nilai 84.0 VHN. Laju korosi awal pada permukaan sampel adalah 0.41 mpy. Laju korosi minimum dicapai pada *holding time* 7 jam yaitu 0.23mpy, laju korosi meningkat pada *holding time* 11 jam sebesar 0,24 mpy dan 24 jam sebesar 0.31 mpy. Jenis korosi yang terbentuk pada permukaan sampel adalah korosi intergranuler dan korosi sumuran.

Kata Kunci: *aging*, aluminium seri 6061, korosi, struktur mikro

1. Pendahuluan

Paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari sisi: kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi (Husaini, 2006). tetapi paduan ini memiliki kekuatan kurang dibandingkan dengan paduan lainnya (Surdia, 2000).

Menurut Demir dan Gunduz (2008), kekuatan dan kekerasan paduan aluminium seri 6061 dapat ditingkatkan dengan solusi perlakuan panas. Perlakuan panas adalah salah satu dari faktor-faktor pengendalian yang paling penting digunakan untuk meningkatkan sifat mekanis dan ketertahanan dari paduan aluminium ini.

Sementara itu akibat perlakuan panas yang tidak sesuai serangan korosi intergranular dapat menyerang logam atau paduannya, dan juga dapat mempengaruhi laju korosi dengan merubah struktur mikro dari logam atau padunya (Van Vlavck, 1991). Oleh karena itu perlakuan panas terhadap paduan aluminium harus derjakan dengan hati-hati, karena fase antar logamnya mudah menggumpal bila temperatur atau waktu perlakuan melebihi yang di tetapkan untuk paduan yang bersangkutan.

Dalam penelitian ini penulis mengambil bahan paduan aluminium seri 6061 sebagai sampel

penelitian. Tujuan penelitian adalah Untuk mempelajari dan menganalisa pengaruh perlakuan panas *aging* terhadap struktur mikro, jenis-jenis serangan korosi dan laju korosi dari paduan aluminium seri 6061.

1.1 Korosi

Korosi adalah penurunan mutu logam yang disebabkan oleh reaksi kimia (*chemical*) atau elektrokimia dengan lingkungannya. Secara spesifik definisi korosi yaitu kumpulan dari keseluruhan proses dengan jalan dimana logam atau paduan logam yang digunakan untuk material struktur berubah bentuk dari bersifat logam menjadi beberapa kombinasi dari kondisi yang disebabkan oleh interaksi dengan lingkungannya. Dengan demikian korosi juga diartikan sebagai kerusakan atau keausan dari material akibat terjadinya reaksi dengan lingkungannya yang didukung oleh factor-faktor tertentu (Supomo, 2003).

Menurut Trethewey (1991), jenis korosi yang dikenal selama ini adalah : korosi batas butir, korosi intergranuler, korosi galvanik, korosi celah dan korosi sumuran.

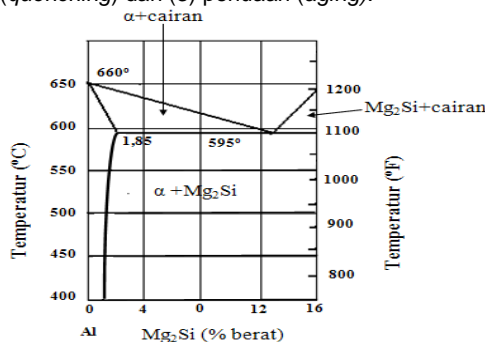
1.2 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas merupakan suatu proses kombinasi antara pemanasan dan pendinginan terhadap logam dalam bentuk padat selama

waktu tertentu, dengan tujuan mendapatkan sifat-sifat mekanik tertentu. Proses perlakuan panas ini bergantung pada pemakaiannya, dapat digunakan untuk mengeras, melunakkan, menghilangkan tegangan sisa (*residual stresses*), meningkatkan keuletan, dan untuk meningkatkan mampu mesin.

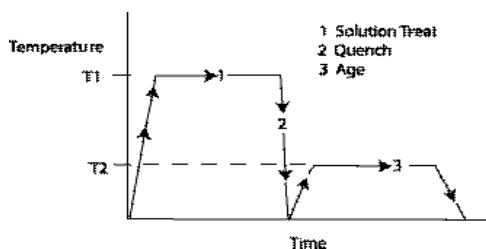
Gambar 1 menunjukkan diagram fasa Al-Mg₂Si. Yang berasal dari kalarutan yang menurun dari Mg₂Si terhadap larutan padat Al dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Gambar tersebut merupakan dasar untuk melakukan perlakuan panas untuk paduan aluminium seri 6000, termasuk paduan aluminium seri 6061 (Surdia,1991).

Proses perlakuan panas yang digambarkan oleh Kusuma dan Tjitro (2008), seperti pada gambar 2.3. menunjukkan adanya tiga proses yang penting dilakukan pada perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekanik dan korosi paduan aluminium, yaitu (1) pemanasan pelarutan (*solution treat*), (2) pendinginan cepat (*quenching*) dan (3) penuaan (*aging*).



Gambar 1. Diagram fasa biner semu dari paduan Al-Mg₂Si (Surdia, 1991)

Proses perlakuan pemanasan (*heat treatment*) sampel paduan aluminium diperlihatkan pada gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Diagram proses heat treatment sampel uji (Kusuma dan Tjitro, 2008)

Pemanasan pelarutan yaitu memanaskan paduan pada temperatur tinggi (diatas *solvus line*) dan diberikan waktu penahanan yang cukup, hingga mencapai batas kelarutannya atau mencapai fasa tunggal, dimana unsur-unsur pepadu larut secara sempurna kedalam fasa tersebut, kemudian diikuti dengan pendinginan cepat *quenching* yaitu dengan mencelupkan ke dalam air atau media pendingin lainnya yang dilakukan pada temperatur rendah untuk memperoleh larutan padat jenuh (William F. Smith, 1990).

Menurut DeGarmo dkk (1987), dalam (Kusuma dan Citro, 2008), *Quenching* atau pendinginan cepat, bertujuan mempertahankan larutan padat

yang telah terbentuk, dapat pula dikatakan bahwa proses ini berguna untuk menahan atom-atom yang larut dalam atom pelarut. Jadi ketika paduan didinginkan dari temperatur pelarutan dalam keadaan cepat. Proses pembentukan presipitat dalam aluiminium terjadi dengan cepat pada temperatur 260 – 400 °C. Walaupun pendinginan cepat akan menciptakan tegangan sisa dan distorsi tetapi ini juga menjadi suatu pertimbangan tersendiri pada setiap proses desain paduan. Pendinginan cepat juga memperbaiki ketahanan terhadap korosi (Schulz, 2000).

Perlakuan penuaan (*aging*) yaitu perlakuan panas dengan menahannya pada suatu temperatur tertentu (temperatur kamar atau temperatur di bawah *solvus line*/ batas pelarut) untuk jangka waktu tertentu. Penuaan dapat dibagi menjadi dua yaitu; (1) Penuaan yang dilakukan dengan membiarkan larutan padat jenuh itu pada temperatur kamar selama beberapa waktu, dinamakan *natural aging* yaitu penuaan yang terjadi secara alamiah. (2) Penuaan dengan memanaskan kembali larutan padat jenuh itu kesuatu temperatur di bawah garis *solvus* dan dibiarkan pada temperatur tersebut selama beberapa saat, dinamakan *artificial aging (aging buatan/ aging treatment)*.

Menurut Kusuma dan Citro (2008), pada proses *aging* terjadi proses presipitasi dari atom *solid solution* melalui nukleasi dan pertumbuhan butir dari atom *solute* menjadi *nuclei presipitat*. Pada beberapa material, proses *aging* untuk mencapai kekuatan dan kekerasan maksimum dapat terjadi dalam kurun waktu yang lama.

Pada temperatur terlalu tinggi atau *aging time* terlalu panjang maka partikel halus yang terdispersi dalam jumlah banyak secara beransur-ansur akan menjadi kasar kembali dengan jumlah yang lebih sedikit dan jarak antara partikel lebih besar, sehingga efek penguatannya akan menurun (Demir dan Gunduz, 2008), proses tersebut lazim dinamakan *over aged*.

2. Metodologi Penelitian dan Bahan

2.1 Persiapan Sampel

Material yang digunakan adalah paduan aluminium seri 6061 dengan kandungan (%berat), 0,58%Si, 0,46%Fe, 0,19%Cu, 0,1%Mn, 0,91%Mg, 0,12%Zn, 0,001%Ni, 0,03%Cr, 0,02%Pb, 0,01%Ti, dan Al<97,49. Material yang digunakan berbentuk batang dengan diameter 16 mm, dibentuk menjadi lempengan dengan diameter 14 mm dan tebalnya 13 mm.

Sampel yang telah dibentuk baik yang sudah diperlakukan panas maupun tanpa perlakuan panas dilakukan penggosokan dengan kertas gosok berturut-turut dengan ukuran grid 800, 1000, 1500 dan terakhir menggunakan grid yang paling halus yaitu 2000. Selanjutnya sampel dipoles menggunakan serbuk alumunina 0,05 µm yang ditaburkan pada kain bludru yang terpasang pada alat polisher.

2.1 Perlakuan Panas *Aging*

Sampel akan dipanaskan di dalam *furnace* selama 4 jam pada temperatur 530°C, kemudian dicelupkan ke dalam air pada temperatur kamar. Proses pemanasan selanjutnya yaitu semua sampel yang telah dicelup di dalam air dipanaskan kembali pada temperatur 180°C, dan dilakukan penundaan dengan lama waktu yang berbeda, yaitu 1, 7, 11 dan 24 jam kemudian didinginkan di udara bebas.

2.2 Uji Komposisi Kimia

Untuk mengetahui komposisi kimia paduan aluminium seri 6061 yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini, maka terlebih dahulu dilakukan uji komposisi kimia menggunakan XRF. Dengan XRF unsur-unsur yang membangun material dapat di analisa. Kelemahan dari metode XRF adalah tidak dapat mengetahui senyawa apa yang dibentuk oleh unsur-unsur yang terkandung dalam material yang akan diteliti.

2.3 Uji Kekerasan

Sebelum dan sesudah dilakuan perlakuan panas maka semua sampel diuji kekerasannya menggunakan *microhardness* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Sampel yang telah dibentuk dan telah dihaluskan diuji kekerasannya pada tiga titik uji.
2. Data yang diperoleh dari *microhardness* dicatat pada lembaran data pengujian. Kekerasan sampel ditentukan dengan merata-ratakan kekerasan ketiga titik pengujian pada masing-masing sampel.

Uji kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan pemanasan *aging* terhadap sifat mekanik (kekerasan) aluminium seri 6061 yang dijadikan sampel dalam penelitian ini. Langkah pengujian ini digunakan juga sebagai pembandingan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Demir dan Gunduz (2008), tentang sifat kekerasan aluminium seri 6061 yang telah diperlakukan *aging*.

2.4 Uji Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan potensiostat PGS-201 ST yaitu suatu perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat bahan korosi. Sel ini dapat digunakan untuk berbagai jenis percobaan korosi. Elektroda dalam hal ini sebagai pengganti anoda karena pengujian ini tidak hanya terbatas pada perilaku yang berkaitan dengan anoda, tetapi perilaku yang terjadi pula pada katoda. Sel ini dilengkapi dengan alat pengukur arus, alat pengukur potensial, dan potensiostat yaitu sumber potensial yang akan bertindak sebagai penggerak elektroda kerja, sehingga reaksi sel yang dikehendaki dapat berlangsung. Sel tersebut adalah sel tiga elektroda (Widanarko, 1999). Alat ini dilengkapi dengan tempat cuplikan dengan diameter 15 mm dan bagian yang terkorosi diameternya 10 mm.

Langkah-langkah uji korosi yang dilakukan adalah:

1. Persiapan yaitu paduan aluminium yang digunakan untuk pengujian korosi dibentuk menggunakan mesin bubut dengan diameter 14mm, dan tebal 1.3mm.
2. Sebelum dilakukan pengujian korosi terlebih dahulu sampel digosok kemudian dipoles dengan alumina (Al_2O_3) sampai mengkilap seperti cermin.

2.5 Pengamatan Struktur Mikroskopik dan Komposisi Kimia

Pengamatan struktur mikroskopik ini dilakukan pada sampel sebelum dan sesudah perlakuan panas serta setelah uji korosi. Pengamatan pertama dilakukan dengan MO (Mikroskop Optik) yang bertujuan untuk menunjukkan gambar struktur mikro pada permukaan aluminium seri 6061. Pengamatan selanjutnya dilakukan setelah dilakukan uji korosi yang bertujuan untuk menunjukkan gambar karakteristik korosi sampel yang telah terkorosi. Selanjutnya dilakukan pengamatan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electro Microscopy*) yang bertujuan untuk menunjukkan struktur mikro dari paduan aluminium seri 6061 yang terkorosi dan EDX bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung pada produk korosi yang terbentuk yang dideteksi dengan SEM.

Selain EDX digunakan pula XRD (*X-ray diffraction*) untuk mengamati perubahan fase pada sampel yang telah diperlakukan panas *aging* dan produk korosi.

3. Hasil dan Pembahasan

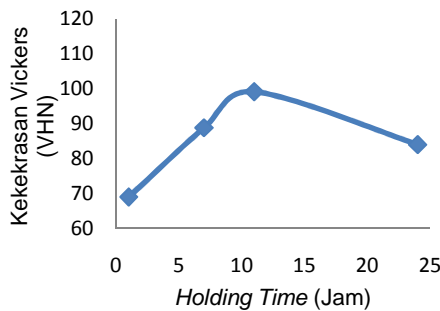
3.1 Analisis Pengaruh Perlakuan Pemanasan *Aging* terhadap Kekerasan Sampel

Menurut Rubijanto (2006), perlakuan panas biasa dilakukan pada logam campuran yang pada temperatur kamar mempunyai struktur mikro dua fase atau lebih. Sedang pada temperatur yang lebih tinggi fase-fase tersebut akan larut menjadi satu fase. Jika pada keadaan satu fase pada temperatur tinggi tersebut dengan cepat logam tersebut didinginkan cepat, maka pada temperatur kamar akan terbentuk satu fase yang kelewat jenuh. Bila logam pada keadaan tersebut dipanaskan lagi maka fase-fase yang larut akan mengendap.

Perlakuan panas pelarutan yang diikuti pendinginan cepat dengan pencelupan di dalam air bertujuan untuk membawa keadaan pada temperatur tinggi (yaitu larutan padat yang homogen) ke temperatur yang biasa sehingga kelarutan elemen penguas akan bertambah, dalam hal ini sampel menjadi menurun kekerasannya. Hasil pengujian kekerasan pada sampel yang diperlakukan panas pelarutan dengan temperatur 530°C dengan *holding time* 4 jam mengalami penurunan kekerasan sebesar 20,97% dibandingkan dengan sampel yang tidak diperlakukan panas.

Menurut Djoko (2004), harga kekerasan hasil proses perlakuan panas lebih rendah dibandingkan dengan harga kekerasan hasil proses tanpa perlakuan panas hal ini disebabkan karena pada proses tanpa perlakuan panas terdapat tegangan sisa, tegangan sisa inilah yang mempengaruhi harga kekerasan pada proses tanpa perlakuan panas tinggi. Selain itu proses perlakuan panas pelarutan ini juga akan menghambat terbentuknya presipitat atau endapan pada batas butir.

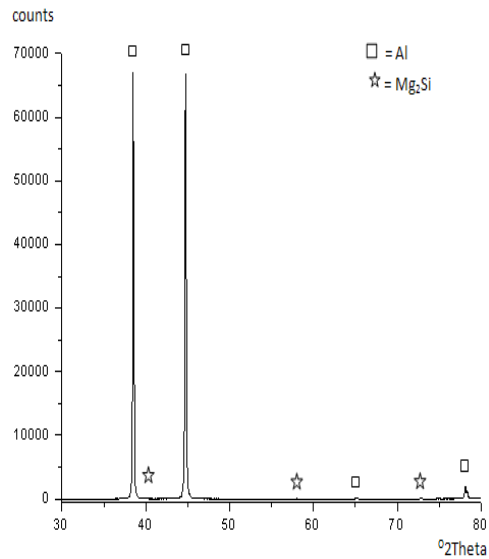
Untuk meningkatkan kembali kekuatan sampel maka dilakukan perlakuan panas *artificial aging*, yaitu sampel dipanaskan kembali pada temperatur 180°C dan ditahan pada berbagai variasi *holding time*. Sampel dengan *holding time* 1 jam mengalami penurunan kekerasan sebesar 3,8% dari sampel yang tidak dipanaskan dengan nilai kekerasan rata sebesar (71,7±5,56) VHN. Gambar 4.1 menunjukkan grafik hubungan kekerasan dengan *holding time* pada proses perlakuan panas *aging* sampel aluminium seri 6061.



Gambar 4. Grafik hubungan kekerasan sampel dan *holding time* sampel yang telah diperlakukan panas *aging*.

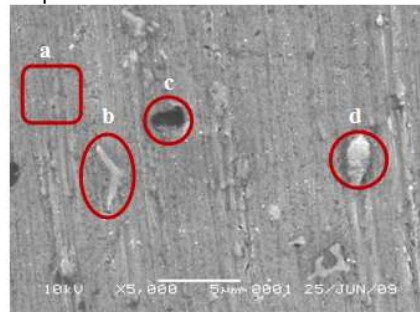
Pada Gambar 4 terlihat bahwa nilai kekerasan sampel meningkat seiring meningkatnya waktu penahanan (*holding time*) 1, 7, dan 11 jam dengan nilai rata-rata kekerasan berturut-turut (69.0±1,75), (88,8±1,67) dan (99.1±3,96) VHN, tetapi kekerasannya menurun kembali pada *holding time* 24 jam dengan nilai rata-rata kekerasan sebesar (84.0±2,63) VHN. Ini berarti bahwa nilai kekerasan sampel mengalami kenaikan dibandingkan dengan sampel tanpa perlakuan panas pada *holding time* 7, jam sebesar 23,9%, dan kekerasan maksimum terjadi pada *holding time* 11 jam sebesar 38,2% dari sampel yang tidak diperlakukan panas. Namun pada *holding time* 24 jam terjadi penurunan kekerasan sebesar 14,3% dari kekerasan maksimum pada *holding time* 11 jam, tetapi kekerasannya masih meningkat 17,2% dibandingkan dengan sampel yang tidak diperlakukan panas.

Perlakuan panas *aging* akan membuat sifat mekanik logam menjadi lebih baik. Hal ini dikarenakan perubahan struktur mikro akibat dari pembentukan presipitat. Hasil uji XRD pada sampel menunjukkan bahwa unsur utama paduan aluminium seri 6061 adalah Al, hal ini terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil XRD paduan aluminium seri 6061 tanpa perlakuan panas.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa puncak-puncak karakterisasi difraksi sinar-X paduan aluminium seri 6061 tanpa perlakuan panas. Al merupakan unsur utama dimana intensitas puncak Al mendominasi puncak-puncak yang ada, disamping itu puncak yang lainnya dimiliki oleh partikel Mg₂Si, hal ini diperkuat oleh hasil pengamatan menggunakan SEM yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan hasil EDX yang tertera pada Tabel 1



Gambar 6. Foto struktur mikro sampel paduan aluminium seri 6061 tanpa perlakuan panas hasil SEM, pembesaran 5000x, (a) area pada daerah matriks (b) insert pada titik berwarna keabu-abuan (c) insert pada titik berwarna hitam (d) insert pada titik berwarna putih.

Gambar 6 menunjukkan adanya beberapa bentuk dan warna endapan yang berlainan pada permukaan sampel yang tidak diperlakukan panas, gambar ini diperoleh dengan SEM pembesaran 5000 kali, gambar yang ditandai tersebut selanjutnya digunakan EDX untuk mendapatkan komposisi kimia, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada area matriks Gambar 6a terdapat unsur Al 96,48 mass % sementara itu jika ditinjau dari persentase oksidanya Al₂O₃ yang mendominasi dengan 98,77 mass%, hal ini berarti bahwa pada sampel aluminium seri 6061 terdapat lapisan oksida Al₂O₃ yang berfungsi melindungi logam di bawahnya dari serangan korosi.

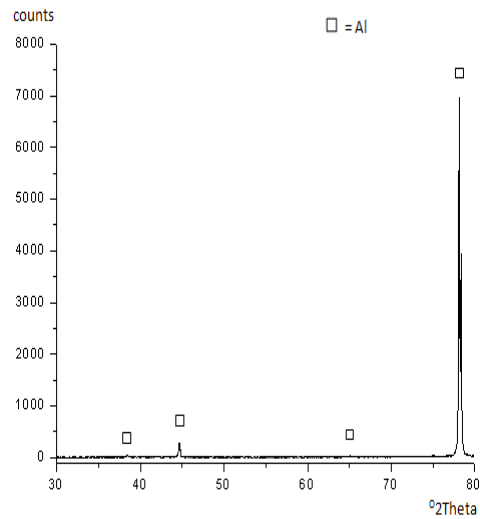
Tabel 1: Hasil EDX sampel paduan aluminium seri 6061 tanpa perlakuan panas.

Area/Inser		a	b	c	d
%Berat	O	1,96	1,40	16,16	14,82
	Mg	0,31	0,24	14,18	0,05
	Al	96,48	90,64	48,11	84,41
	Si	0,28	7,28	21,55	0,71
	Ti	0,14	0,00	0,00	0,00
	Cr	0,12	0,00	0,00	0,00
	Mn	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fe	0,58	0,00	0,00	0,00
	Cu	0,13	0,45	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	
%Atom	O	3,28	2,35	24,38	22,68
	Mg	0,34	0,26	14,07	0,05
	Al	95,64	90,24	43,03	76,63
	Si	0,26	6,96	18,52	0,63
	Ti	0,08	0,00	0,00	0,00
	Cr	0,06	0,00	0,00	0,00
	Mn	0	0,00	0,00	0,00
	Fe	0,28	0,00	0,00	0,00
	Cu	0,06	0,19	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	

Pada gambar 6b yang diinser pada permukaan sampel yang berwarna abu-abu terlihat bahwa hasil EDX pada Tabel 1b menunjukkan adanya partikel AlMgSiCu, yang merupakan fase kesetimbangan paduan aluminium seri 6061 Endapan pada permukaan sampel yang berwarna hitam gelap pada Gambar 6c sesuai dengan hasil EDX menunjukkan bahwa endapan tersebut adalah partikel Mg₂Si. Hasil ini diperkuat oleh Anonim (2007), yang menyatakan bahwa warna hitam yang terdapat pada permukaan aluminium 6061 itu adalah Mg₂Si. Mg₂Si ini juga dapat terbentuk pada Gambar 4.2d yang diinser pada permukaan sampel yang berwarna putih

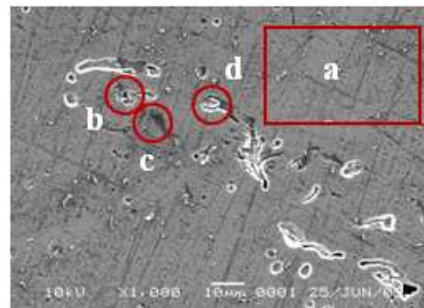
Menurut Surdia (2000), setelah perlakuan pelarutan dan dengan memanaskan kembali pada berbagai temperatur umumnya timbul fasa presipitat. Presipitat yang terbentuk mulai yang sangat kecil yang hanya dapat dilihat dibawah mikroskop elektron sampai ke ukuran besar yang dapat dilihat di bawah mikroskop optik dengan pembesaran rendah. Presipitat yang terbentuk dapat berbentuk seperti bola, pelat atau seperti jarum. Puncak-puncak pola hasil karakterisasi difraksi sinar-X paduan aluminium seri 6061 yang diperlakukan panas pelarutan diperlihatkan pada Gambar 7.

Karakterisasi dengan difraksi sinar-X pada paduan aluminium seri 6061 yang diperlakukan panas pelarutan pada temperatur 530°C dengan holding time 4 jam terlihat bahwa Al merupakan unsur utama dalam paduan walaupun pada sudut 38,511 °2θ dan 44,725 °2θ terlihat puncak pola difraksi mengalami penurunan tetapi pada sudut 78,145 °2θ puncak pola difraksi mengalami peningkatan, hal ini berarti bahwa proses perlakuan panas menyebabkan terkonsentrasinya puncak-puncak pola difraksi pada suatu sudut tertentu yaitu pada sudut 78,145 °2θ dan larutnya unsur lain ke dalam



Gambar 7 Hasil XRD paduan aluminium seri 6061 panas pelarutan pada temperatur 530°C dengan holding time 4 jam.

matrik. Dominannya Al pada paduan ini diperkuat oleh hasil SEM-EDX pada Gambar 8 dan Tabel 2.



Gambar 8 Foto struktur mikro sampel paduan aluminium seri 6061 perlakuan panas aging pada temperature 180°C dengan holding time 1 jam hasil SEM, pembesaran 1000x, (a) area pada daerah matriks (b) insert pada titik berwarna keabu-abuan (c) insert pada titik berwarna hitam (d) insert pada titik berwarna putih

Gambar 8 menunjukkan adanya perbedaan komposisi kimia pada permukaan sampel paduan aluminium seri 6061 yang diperlakukan panas pelarutan, gambar ini diperoleh dengan SEM pembesaran 1000 kali, gambar yang diberi tanda lingkaran dan persegi tersebut selanjutnya digunakan EDX untuk mendapatkan komposisi kimia, seperti terlihat pada Tabel 2.

Gambar 8a pada daerah matriks menunjukkan, bahwa sesuai dengan hasil EDX yang tercantum pada Tabel 2a menunjukkan bahwa Al merupakan unsur utama pada paduan aluminium seri 6061. Pada gambar 8b, terlihat hasil pengamatan menggunakan SEM-EDX yang diinser pada permukaan sampel yang berwarna keabu-abuan.

Pada Gambar 8b terlihat bahwa partikel CuAl₂ dan AlMnFeSi dapat terbentuk sesuai dengan hasil EDX pada Tabel 2b. Hasil ini diperkuat oleh Svenningsen (2006), bahwa fasa AlMnFeSi bisa diharapkan sebagai fase kesetimbangan untuk paduan aluminium ini.

Tabel 2: Hasil EDX sampel paduan aluminium seri 6061 perlakuan panas pelarutan.

Area/Inser	a	b	c	d	
%Berat	O	0,58	5,78	16,16	0,83
	Mg	0,53	0,95	14,18	0,42
	Al	97,73	64,13	48,11	98,00
	Si	0,44	3,18	21,55	0,42
	Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mn	0,00	0,54	0,00	0,15
	Fe	0,00	25,08	0,00	0,09
	Cu	0,25	0,34	0,00	0,08
	Zn	0,46	0,00	0,00	0,00
%Atom	O	0,97	10,77	24,38	1,39
	Mg	0,59	1,17	14,07	0,47
	Al	97,71	70,84	43,03	97,58
	Si	0,42	3,37	18,52	0,40
	Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mn	0,00	0,00	0,29	0,07
	Fe	0,00	0,00	13,39	0,04
	Cu	0,11	0,19	0,16	0,04
	Zn	0,19	0,00	0,00	0,00

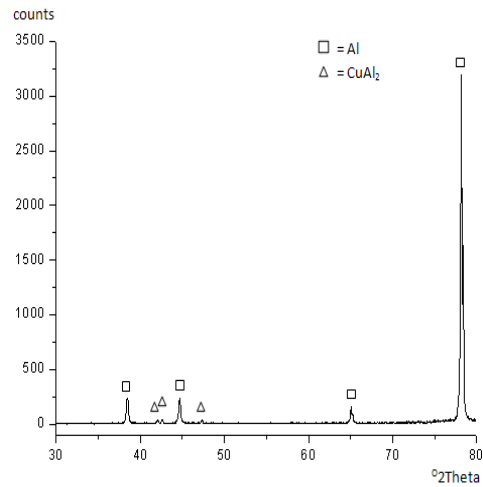
Mg₂Si terbentuk pada permukaan sampel yang berwarna hitam seperti pada Gambar 8c. Hal ini sesuai dengan Hasil EDX pada Tabel 2c. CuAl₂ juga dapat terbentuk pada permukaan sampel seperti pada Gambar 8d.

Menurut Demir dan Gunduz (2008), peningkatan kekerasan setelah di *aging* pada berbagai *holding time* yang mencapai kekerasan maksimum pada *holding time* 11 jam karena pengendapan pada batas butir dan struktur butir yang semakin halus. Partikel-partikel yang mengendap adalah fasa CuAl₂ yang berbentuk plat-plat dan Mg₂Si berupa jarum-jarum.

Hasil uji XRD pada sampel paduan aluminium seri 6061 dengan perlakuan panas *aging* pada temperatur 180°C dengan *holding time* 1 jam menunjukkan bahwa Al masih mendominasi tinggi puncak pada pola difraksi sinar-X, disamping itu terdapat juga puncak lain yang dimiliki oleh partikel CuAl, hal ini terlihat pada Gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan bahwa terdapat puncak baru yang muncul bila dibandingkan dengan hasil difraksi sinar-X pada perlakuan panas pelarutan, hal ini berarti bahwa Al tetap merupakan unsur utama paduan ini disamping itu puncak pola difraksi lainnya adalah CuAl₂. Sementara itu puncak pola difraksi Mg₂Si tidak terdeteksi pada uji XRD ini karena senyawa Mg₂Si sangat sedikit dibandingkan dengan unsur Al yang merupakan unsur utama penyusun paduan aluminium seri 6061 yang dijadikan sampel dalam penelitian ini, akan tetapi keberadaan Mg₂Si ini terdeteksi dengan uji SEM-EDX seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 dan Tabel 2 tersebut di atas.

Dari data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa partikel yang mengendap pada batas butir sampel aluminium seri 6061 yang diperlakukan panas *aging* dengan *holding time* 1, 7, 11 dan 24 jam adalah Mg₂Si dan CuAl₂. Hal ini diperkuat oleh Demir dan Gunduz (2006),



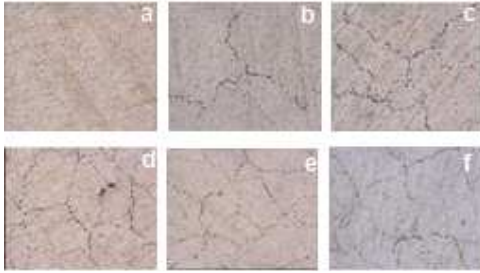
Gambar 9 Hasil XRD paduan aluminium seri 6061 perlakuan panas *aging* dengan *holding time* 1 jam. bahwa partikel-partikel yang mengendap pada batas butir adalah fasa CuAl₂ dan Mg₂Si.

Gambar 10 menunjukkan struktur mikro sampel yang telah diperlakukan pemanasan *aging* dengan berbagai variasi *holding time* yaitu, 1, 7, 11 dan 24 jam. Setelah dilakukan perhitungan maka diketahui bahwa semakin lama *holding time* struktur butirnya juga semakin halus dan maksimal pada *holding time* 11. Hal ini sesuai dengan uji kekerasan yang menunjukkan bahwa kekerasan juga meningkat dengan meningkatnya *holding time* dan maksimum terjadi pada *holding time* 11 jam. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, peningkatan kekerasan berbanding lurus dengan peningkatan luas daerah batas butir. Hal ini juga diperkuat oleh Van Vlack (1991), yang menyatakan bahwa logam dengan dengan butir yang halus lebih keras dan kuat dibandingkan dengan logam yang berbutir kasar. Penurunan kekerasan yang terjadi pada *holding time* 24 jam karena sudah terjadi *over aging*, hal ini dikarenakan presipitat yang telah terbentuk terurai membentuk susunan yang stabil dalam larutan padat atau presipitat menggumpal sehingga struktur butirnya menjadi besar kembali (Van Vlack, 1991).

3.2 Analisis Pengaruh Perlakuan Pemanasan *Aging* terhadap Struktur mikro Paduan aluminium seri 6061

Proses perlakuan panas *aging* ini juga berpengaruh pada struktur mikro sampel, yaitu paduan aluminium 6061. Gambar 10 menunjukkan struktur mikro sampel, baik tanpa perlakuan panas maupun perlakuan panas *aging*. yang diperoleh dengan mikroskop optik diperbesar 100x.

Struktur mikro pada Gambar 10 menunjukkan bahwa semakin lama *holding time* maka besar batas butir semakin kecil atau halus. Menurut Van Vlack (1991), batas butir berpengaruh atas bahan dalam berbagai hal, maka perlu diketahui besar daerah batas butir per satuan volume, S_v .



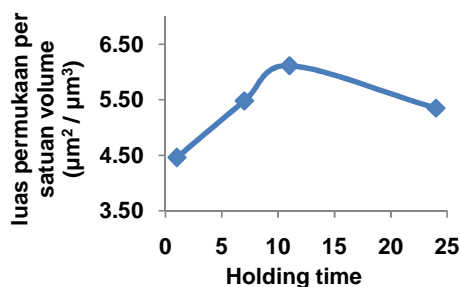
Gambar 10 Hasil uji strukturmikro sampel paduan aluminium seri 6061 (a) tanpa perlakuan panas (b) perlakuan panas pelarutan (c) perlakuan panas aging dengan holding time 1 jam (d) 7 jam (e) 11 jam (f) 24 jam perbesar 100x menggunakan MO.

Besarnya dapat dihitung dengan menarik suatu garis pada gambar struktur mikro tersebut. Garis ini akan memotong lebih banyak batas butir pada bahan berbutir halus dibanding dengan bahan berbutir kasar. Hubungannya adalah

$$S_V = 2 P_L$$

dengan P_L merupakan jumlah titik potong antara garis dengan panjang satuan dan batas butir.

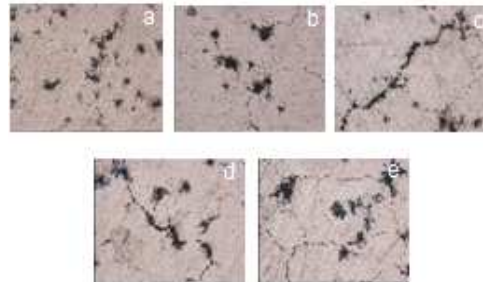
Dengan meletakkan jaringan berbentuk lingkaran berukuran $100 \mu\text{m}$ yang diulangi sebanyak lima kali pada posisi yang berlainan di atas masing-masing gambar struktur mikro yang diperbesar 100 kali, maka, diperoleh hasil, yaitu pada perlakuan panas pelarutan *holding time* 24 jam dicelupkan ke dalam air terdapat 21 titik potong dan luas permukaan per satuan volume $2,64 \mu\text{m}^2/\mu\text{m}^3$. Untuk perlakuan panas aging dengan *holding time* 1 jam terdapat 35 titik potong dan luas permukaan per satuan volume (S_V) adalah, $4,46 \mu\text{m}^2 / \mu\text{m}^3$, pada *holding time* 7 jam ada 43 titik potong dengan luas permukaan per satuan volume sebesar $5,48 \mu\text{m}^2 / \mu\text{m}^3$, dan maksimum pada *holding time* 11 jam dengan titik potong sebanyak 48 dan luas permukaan per satuan volume sebesar $6,11 \mu\text{m}^2 / \mu\text{m}^3$, sementara pada *holding time* 24 jam ternyata jumlah titik potong hanya 42 berkurang dibandingkan pada *holding time* 11 dengan luas permukaan per satuan volume hanya sebesar $5,35 \mu\text{m}^2 / \mu\text{m}^3$. Hubungan antara luas permukaan batas butir dengan *holding time* pada perlakuan aging ditunjukkan pada Gambar 11 tersebut di bawah ini.



Gambar 11. Hubungan antara luas permukaan batas butir persatuan volume dengan *holding time* pada perlakuan aging paduan aluminium seri 6061.

3.3 Analisis Pengaruh Perlakuan Pemanasan Aging terhadap Jenis-Jenis Korosi Paduan Aluminium seri 6061.

Dari hasil pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik terhadap sampel aluminium seri 6061 dengan medium pengkorosi 0,05 M HCl mengalami serangan korosi intergranuler dan korosi sumuran, hal ini diperkuat oleh Svenningsen (2006), bahwa paduan aluminium seri 6061 terserang korosi integranuler dan sumuran akibat perlakuan panas. Bentuk korosi intergranuler dan korosi sumuran tampak seperti pada Gambar 12.



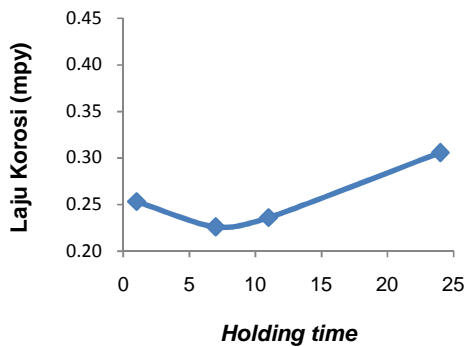
Gambar 12. Jenis serangan korosi pada aluminium seri 6061 (a) korosi sumuran yang merata pada sampel tanpa perlakuan panas (b) korosi sumuran pada sampel perlakuan panas aging dengan *holding time* 1 jam (c) korosi integranuler pada *holding time* 7 jam (d) korosi integranuler dan sumuran pada *holding time* 11 jam (e) korosi sumuran pada *holding time* 24 jam.

Korosi intergranuler terjadi pada sampel penelitian ini karena pada daerah batas butir terjadi pengendapan (*precipitation*). Endapan yang terjadi pada batas butir adalah Mg_2Si dan CuAl_2 , hal ini sesuai dengan hasil EDX pada Tabel 1 dan 2. begitu pula hasil uji XRD pada Gambar 9.

Korosi sumuran yang terbentuk, adalah korosi lokal yang secara selektif menyerang bagian permukaan paduan aluminium yang dijadikan sampel dalam penelitian ini yang mempunyai komposisi heterogen dengan adanya *presipitasi*, baik pengendapan pada batas butir maupun didalam butir. Adanya *presipitat* ini menyebabkan terjadinya perbedaan potensial antara *presipitat* dengan aluminium sebagai unsur utama dalam paduan ini, dimana *presipitat* yang mengendap lebih katodik sehingga aluminium akan terkorosi akibatnya terjadi pertukaran elektron secara terus menerus antara *presipitat* dengan aluminium sehingga membentuk sumuran.

3.4 Analisis Pengaruh Perlakuan Pemanasan Aging terhadap Laju Korosi Paduan aluminium seri 6061 dalam 0,05M HCl

Hubungan laju korosi paduan aluminium seri 6061 dalam medium 0.05 M HCl pada perlakuan *aging* dengan variasi *holding time* ditunjukkan pada gambar 13, yang terlihat bahwa pada *holding time* 1 jam, sampel memiliki laju korosi sebesar 0.25 mpy, hal ini berarti bahwa pada *holding time* ini sampel mengalami penurunan laju korosi sebesar 37,9% dibandingkan dengan laju korosi sampel yang tidak diperlakukan panas. Pada *holding time* 7 laju korosi semakin



Gambar 13. Grafik hubungan laju laju korosi dan holding time I pada sampel yang telah diperlakukan pemanasan aging turun dengan nilai 0,23 mpy, pada holding time 11 jam laju korosi mulai naik dengan 0,24 mpy. Kenaikan laju korosi pada holding time 11 jam tidak terlalu besar yaitu hanya 4,51% persen dibandingkan dengan laju korosi pada holding time 7 jam. Laju korosi semakin naik pada holding time 24 jam dengan nilai 0.31 mpy, tetapi masih lebih rendah dibandingkan dengan laju korosi sampel yang tidak diperlakukan panas sebesar 25,06%. Hal ini berarti bahwa dengan perlakuan pemanasan aging maka laju korosi pada paduan aluminium seri 6061 yang dikorosikan kedalam 0.05 M HCl dapat diperkecil 44,6%.

Naiknya ketahanan korosi setelah perlakuan panas yang maksimum pada holding time 7 jam disebabkan oleh presipitat yang mengendap baik pada batas butir maupun di dalam butir adalah CuAl_2 yang bersifat katodik dibandingkan dengan aluminium. Menurut Trethewey (1991), endapan yang terjadi diantara batas butir dapat bersifat katodik maupun anodik terhadap logam disekitarnya. Dengan adanya endapan maka juga menimbulkan sel-sel galvanik lokal, yang mana korosi dapat terjadi bila endapan bersifat anoda, bahan tersebut larut dan meninggalkan pori-pori. Sedangkan apabila endapan bersifat katoda misalnya CuAl_2 , maka logam yang ada disekitarnya akan diserang. Jadi yang dominan terserang korosi pada sampel dalam penelitian ini adalah unsur aluminium.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari pengolahan data-data adalah sebagai berikut.

1. Struktur mikro paduan aluminium seri 6061 mengalami perubahan akibat perlakuan panas aging. Struktur mikro semakin halus seiring meningkatnya holding time dan maksimum terjadi pada holding time 11 jam. Pada holding time 24 jam struktur mikro menjadi kasar kembali.
2. Jenis-jenis serangan korosi pada paduan aluminium seri 6061 dalam medium 0,05M HCl akibat perlakuan panas aging adalah korosi intergranuler dan korosi sumuran.

3. Laju korosi pada sampel yang diperlakukan panas aging lebih rendah dibandingkan dengan laju korosi pada sampel yang tidak diperlakukan panas. Dalam hal ini perlakuan panas aging dapat menekan atau memperkecil laju korosi sebesar 44,6% pada paduan aluminium seri 6061 dalam medium 0.05 M HCl.

5. Daftar Pustaka

- Demir, Halil dan Gunduz, Suleyman, (2008), "The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy", *Materials and Design* Vol. xxx hal. xxx-xxx.
- Djoko, HP., Juwita, L., Maman, H.A.R., Arif, I.F., "Pengaruh Temperatur Perlakuan Panas (Heat Treatment) terhadap Kestabilan fasa-fasa Senyawaan Antar Logam Ti-Al-Zr", *Paper*.
- Husaini dan Zuhaimi, (2006), "Perilaku Retak Aluminium Paduan A6061-T6 pada Pembebanan Mixed Mode", *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 8, No. 1, hal. 26 – 32.
- Kusuma, T.M., Tjitro, S., (2008), "Karakterisasi dan Peningkatan Kekerasan Material Cetakan Blow Molding", *Peper*.
- Rubijanto, (2006), "Pengaruh Proses Pendinginan Paskah Perlakuan Panas Terhadap Uji Kekerasan (Vickers) dan Uji Tarik pada Baja Tahan Karat 304 Produksi Pengecoran Logam di Klaten", *Traksi*, Vol. 4. No. 1
- Schulz, Kurt C, (2000), "An Experimental and Analytical Study of the Properties of Precipitation Hardening Aluminum Alloys", *Of the School of Engineering Faculty at The University of the Pasific*.
- Svenningsen, G., Larsen, M.H., Nordien, J.H., Nisancioglu, K. (2006), "Effect of High Temperature Heat treatment on Intergranular Corrosion of AlMgSi(Cu) Model Alloy", *Corrosion Science*, Vol 48 Hal. 258-272
- Supomo, Heri, (2003), *Korosi* Buku ajar Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Surdia. Tata dan Saito. Shinroku, (2000), *Pengetahuan Bahan Teknik*, cetakan kelima, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Trethewey, K.R, (1981), *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*, Diterjemahkan oleh Widodo, P.T. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Van Vlack, L. H., (1991), *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*, Edisi kelima. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
- Widanarko, B., (1999), "Efek Implantasi Ion Molibdenum terhadap Ketahanan Korosi Baja AISI 316 L", *Laporan Praktek*, Teknik Mesin, UGM, Yogyakarta.
- William F. Smith, (1990), *Principles of Material Science and Engineering*, Second Edition, Mc Graw-Hill Publishing Company, New York, hal 285,508-585).