

PROSES PEMADUAN DAN PERLAKUAN PANAS PADUAN Al-Li SERTA IDENTIFIKASI FASANYA

Mardjono Siswosuwarno, Tata Surdia, Sutan Siregar, Suprastowo, Mochamad Sun'an
Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin - ITB

ABSTRAK

PROSES PEMADUAN DAN PERLAKUAN PANAS PADUAN AL-LI SERTA IDENTIFIKASI FASANYA. Paduan Al-Li memiliki prospek yang sangat menarik sebagai material struktur ringan yang berkekuatan tinggi. Pada dasarnya paduan ini memanfaatkan massa jenis unsur paduan Li yang kecil ($\rho = 0,54 \text{ gr/cm}^3$), sehingga massa jenis paduan Al-Li memiliki kekuatan yang sekitar 10 % lebih tinggi dari pada paduan Al berkekuatan tinggi lainnya. Kekuatan paduan Al-Li telah mencapai tingkat kekuatan paduan Al konvensional (AA 2024) yaitu melalui proses pengerasan presipitasi.

Percobaan ini dimulai dengan pembuatan paduan Al-Li. Kesulitan akibat terlampau mudahnya Li bereaksi dengan oksigen telah dapat diatasi. Usaha pengerasan presipitasi perlu didahului dengan proses homogenisasi yang cukup, sehingga tingkat pelarutan padat dapat maksimal. Perubahan sifat mekanik diukur dengan uji kekerasan untuk berbagai proses presipitasi. Identifikasi fasa dilakukan dengan metalografi dan teknik EDS/SEM.

PENDAHULUAN

Penambahan unsur Li pada paduan Al memberikan prospek baru dalam usaha mengembangkan sifat-sifat mekanik, khususnya dalam meningkatkan kekakuan spesifik dan kekuatan spesifiknya. Penelitian atas paduan Al-Cu-Li ini dimulai dengan peleburan/pemaduan. Kesulitan yang harus ditanggulangi pada tahap-tahap pemaduan ini adalah karena unsur Li yang terlampau mudah bereaksi dengan udara. Masalah ini dapat diatasi dengan melakukan pencairan dan penuangan dalam tungku vakum.

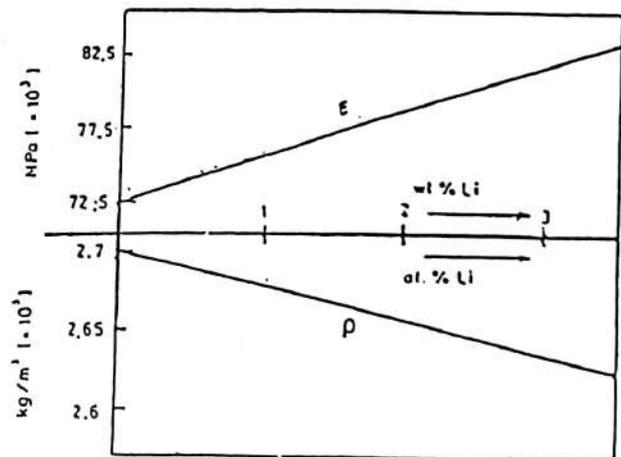
Kekuatan dan kekerasan paduan Al-Cu-Li dapat dinaikkan dengan proses presipitasi. Agar pengerasan presipitasi ini lebih efektif maka setelah pengecoran perlu dilakukan proses homogenisasi. Dalam penelitian ini dilakukan pula identifikasi fasa-fasa yang ada dengan pemeriksaan pada SEM, khususnya dengan metode EDS.

TINJAUAN DASAR TEORI

Paduan Al yang dikenal berkekuatan tinggi adalah dari seri AA 2xxx dan 7xxx. Contoh yang klasik adalah AA 2024 dan 7075, yaitu masing-masing adalah paduan Al-Cu-(Mg) dan Al-Zn-(Mg)-(Cu). Kedua jenis paduan tersebut banyak dipakai pada struktur pesawat terbang. Kekuatan dan kekerasannya ditingkatkan dengan proses presipitasi, baik secara penuaan alamiah (natural aging = T3 dan T4), maupun secara penuaan buatan (artificial aging = T6 dan T7).

Usaha pengembangan paduan Al sebagai material konstruksi berlanjut ke arah penambahan

unsur Li sebagai pepadu. Unsur Li sendiri mempunyai sifat sangat ringan, yaitu massa jenisnya $0,54 \text{ g/cm}^3$. Penambahan unsur Li ke dalam paduan-paduan konvensional ternyata mampu meningkatkan beberapa sifat mekaniknya. Sebagai ilustrasi gambar 1 menunjukkan kenaikan kekakuan serta penurunan massa jenis akibat pemaduan dengan Li.



Gambar 1. Pengaruh penambahan Li terhadap modulus elastisitas dan massa jenis paduan.

Dari gambar 1 tersebut terlihat bahwa kadar Li 3% akan menaikkan kekakuan sekitar 10%. Selanjutnya, massa jenisnya pun akan berkurang sekitar 2,5%.

Tabel 1. menunjukkan perbandingan sifat-sifat mekanik satu jenis paduan Al-Cu-Li : x-2020 (Al - 4,5Cu - 1,1Li - 0,5Mn - 0,2Cd)

Tabel 1. Sifat-sifat mekanik x-2020 dan beberapa paduan Al Berkekuatan Tinggi.

Paduan	Kekuatan tarik (Mpa)	Kekuatan luluh (Mpa)	Perpanjangan (%)	Modulus elastisitas (GPa)
X2020-T6	579	531	3	77,2
2024-T6	517	490	6	73,1
7075-T6	572	503	11	71,7
7079-T6	539	469	11	71,7
7178-T6	607	538	11	71,7

Nampak bahwa keuletan x 2020 masih sangat rendah. Sifat getas inilah yang merupakan kekurangannya yang utama sebagai material konstruksi ; bila retak, maka penjarannya akan sangat cepat.

Untuk itu pengembangan dilanjutkan oleh berbagai industri aluminium, antara lain oleh ALCOA, yaitu dengan beberapa target paduan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi paduan Alithalite ALCOA.^[2]

Unsur %berat	X 8090 A sasaran A	2090 sasaran B	X 8192 sasaran C	X 8092 sasaran D
Si	0,10	0,10	0,10	0,10
Fe	0,15	0,12	0,15	0,15
Cu	1,1-1,6	2,4-3,0	0,4-0,7	0,5-0,8
Mn	0,05	0,05	0,05	0,05
Mg	0,8-1,4	0,25	0,9-1,4	0,9-1,4
Cr	0,05	0,05	0,05	0,05
Zn	0,10	0,10	0,10	0,10
Li	2,1-2,7	1,9-2,6	2,3-2,9	2,1-2,7
Zr	0,08-0,15	0,08-0,15	0,08-0,15	0,08-0,15
Ti	0,15	0,15	0,15	0,15
Al	sisia	sisia	sisia	sisia
Massa jenis (g/cm ²)	2,55	2,57	2,52	2,52

Sifat mekanik paduan 2090^[2] yaitu:

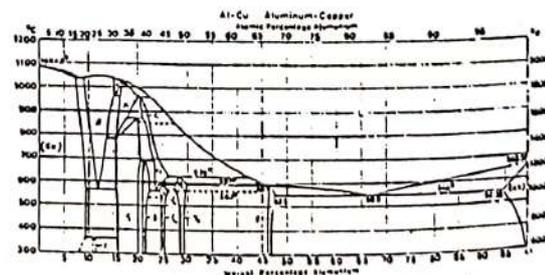
Sifat mekanik	Target	Diperoleh
Kekuatan tarik (ksi)	78-84	86
Kekuatan luluh (tarik)	72-76	81
Kekuatan luluh (tekan)	71-74	80
Perpanjangan (%)	8 - 0	9

Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa:

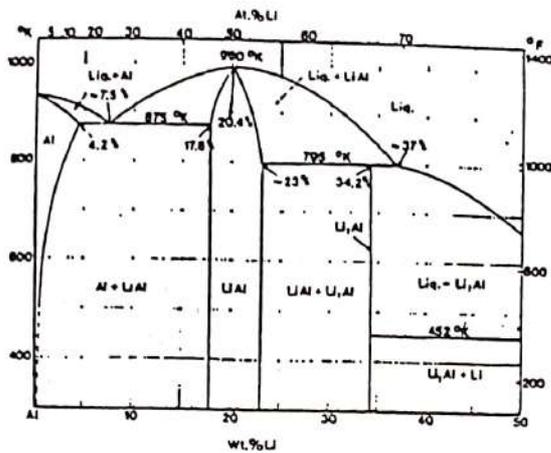
- Bila ditinjau dari kekuatannya, maka penambahan Li telah mampu mengungguli paduan Al yang konvensional.
- Akan tetapi keuletannya masih lebih rendah daripada paduan Al yang konvensional.

Pembuatan paduan Al-Li saat ini dilakukan dengan dua cara yaitu dengan *Ingot Metalurgy* ataupun dengan *Powder Metalurgy*. Keduanya memiliki keunggulan serta kekurangannya. Struktur yang lebih homogen akan diperoleh dengan metalurgi serbuk. Namun biaya produksinya akan lebih tinggi. Sebaliknya proses pengecoran ingot menghadapi masalah ledakan Li pada saat pencampurannya. Segregasi makro dan mikro juga akan terjadi pada proses pengecoran.

Penguatan paduan Al-Cu-Li terutama didasarkan pada terbentuknya endapan (precipitate). Fasa-fasa yang terjadi pada pendinginan yang perlahan-lahan, dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.

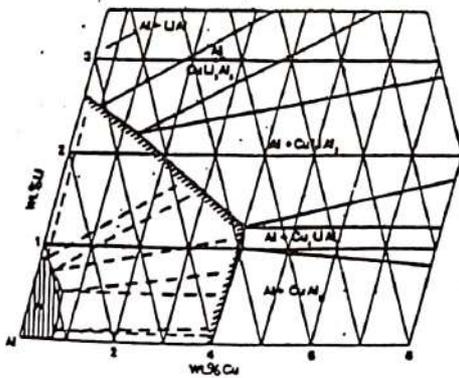


Gambar 2. Diagram fasa Al-Cu



Gambar 3. Diagram fasa Al-Li

Potongan dasar diagram terner Al-Cu-Li di daerah yang kaya akan Al ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Potongan dasar diagram Terner

Sistem Al-Cu sendiri memiliki fasa kedua, yaitu senyawa CuAl_2 . Proses presipitasi akan mengeluarkan atom-atom Cu yang tadinya larut padat lewat jenuh menjadi berturut-turut GP1, GP2, serta akhirnya fasa tergantung pada suhu serta waktu penuangannya. Sistem paduan biner Al-Li memiliki fasa kedua yang stabil (Al-Li). Dalam proses presipitasi terbentuk endapan (Al_3Li) yang meta stabil.

Pada sistem paduan terner Al-Cu-Li, khususnya pada sudut Al akan terbentuk tiga jenis senyawa terner yaitu :

1. Fasa T_B: Cu_4LiAl_7 (56,5 % Cu, 1,5% Li).
2. Fasa T₁: Mendekati CuAlLi_2 (52,8% Cu, 5,4 % Li)
3. Fasa T₂ : Mendekati CuLi_7Al_6 (26,9% Cu, 8,8 % Li)

Menurut Mondolfo (9) , penuaan pada suhu 77 °C, 127 °C akan menghasilkan presipitat dan (Al dengan Cu), dan endapan (Al dengan Li), serta fasa T₁.

Penelitian ini diawali dengan membuat paduan Al-Cu-Li, yaitu dengan proses pencairan dan pepaduan serta pengecorannya. Setelah itu dilakukan proses perlakuan panas yang diawali dengan proses homogenisasi. Selanjutnya adalah proses pelarutan padat yang disusul dengan proses penuaannya. Struktur mikro yang terjadi akibat proses-proses tersebut diamati dengan metalografi. Fasa-fasa yang ada diidentifikasi.

TATAKERJA PERCOBAAN

Peleburan Al-CU-Li dilakukan pada tungku induksi Heraeus Leybolt ($f = 4000 \text{ Hz}$) dalam kondisi vakum. *Krusibel* yang dipakai dibuat dari grafit. Komposisi yang ditargetkan adalah Al : 93,5 % , Cu : 4 % dan Li 2,5 % (berat) .(4)

Mengingat segregasi mikro yang begitu hebat, maka proses homogenisasi perlu dilakukan, yaitu pada 500°C selama 8, 12, 24 jam. Proses pelarutan padat dilakukan pada suhu 500 °C disusul dengan proses celup cepat didalam air. Selanjutnya proses penuaannya dilakukan pada suhu kamar dan pada suhu 150 °C dan 200°C. Angka diukur pada Rockwell H.

Pengamatan metalografi dilakukan dengan mikroskop optik Reichert MeF-2. Mikroskop Elektron yang dipakai dalam penelitian ini adalah JEOL 100 CX dalam modus SEM. Fasa/partikel yang ada diidentifikasi dengan metode EDS.

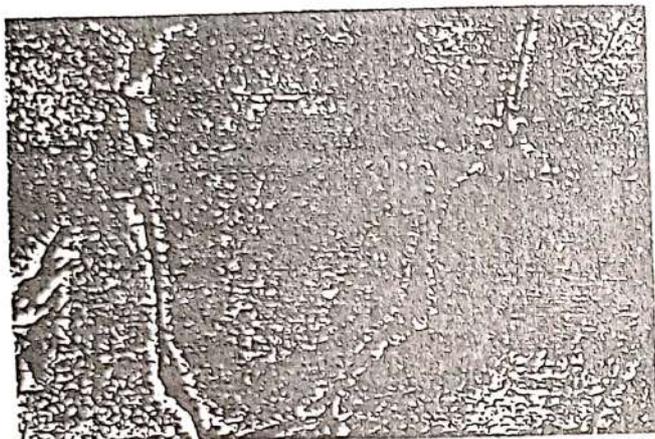
PEMBAHASAN HASIL PENGAMATAN

Analisa kimia terhadap hasil pengecoran menunjukkan adanya sedikit penyimpangan dari komposisi seperti yang terlihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Komposisi Cu dan Li pada hasil coran.

	%Cu	%Li
Target	4,0	2,5
Hasil coran	3,88	1,66

Struktur mikro hasil coran ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur Mikro As Cast.

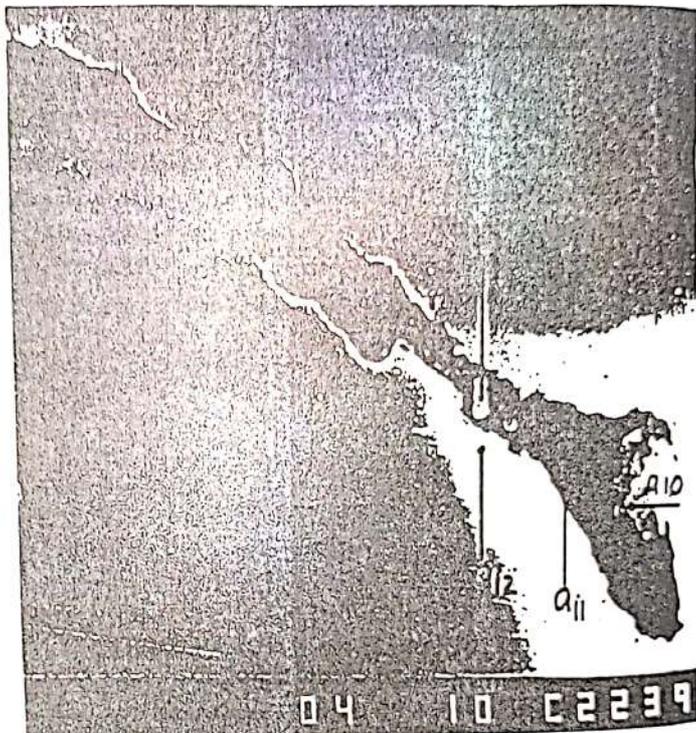
Besar butir pada spsimen hasil coran adalah sekitar 0,5 mm. Ini adalah tergolong butir yang kasar. Sebagai perbandingan produk pelat Al-Cu; Si dari industri memiliki ukuran butir sekitar 40 μm . Segregasi pada batas butir nampak jelas sekali. Homogenisasi yang dilakukan pada suhu 500 $^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam mengubah struktur mikronya menjadi seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.(5)



Gambar 6. Struktur hasil homogenisasi 500 $^{\circ}\text{C}$, 24 jam.

Disini tampak adanya fasa halus berbentuk pelat/jarum yang tersebar merata diseluruh bagian dalam butir.

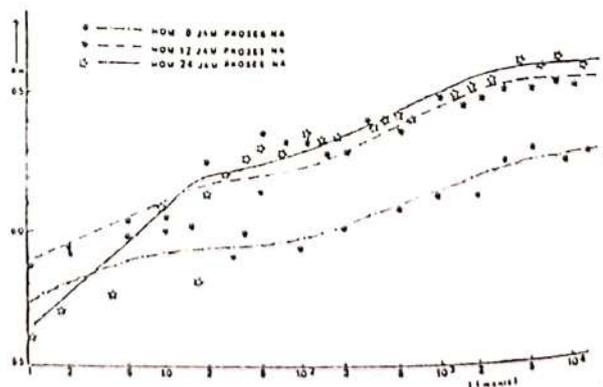
Pemeriksaan pada SEM serta identifikasi fasa dengan EDS pada spesimen hasil coran ditunjukkan pada gambar 7.



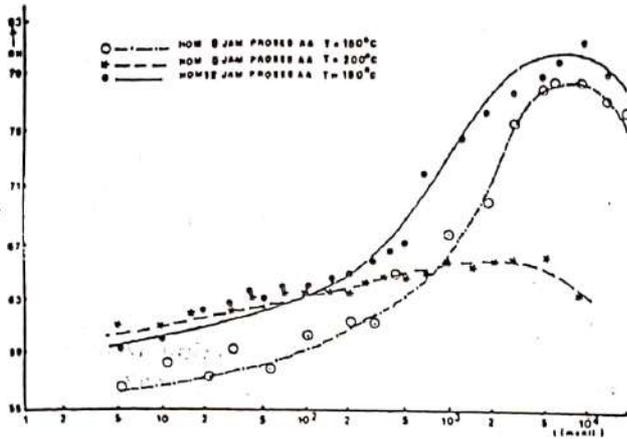
Gambar 7. Hasil SEM dan EDS Spesimen As Cast.

Pada batas butir terdapat segregasi fasa kedua yang banyak mengandung Cu dan Li.

Perubahan kekerasan hasil proses aging ditunjukkan pada gambar 8 (untuk natural aging) dan gambar 9 (artificial aging)



Gambar 8. Kurva kekerasan hasil Natural Aging.



Gambar 9. Kurva kekerasan hasil Artificial Aging.

Pengaruh waktu homogenisasi terlihat jelas pada gambar tersebut. Homogenisasi yang lebih lama pada akhirnya akan menghasilkan kenaikan kekerasan presipitasi yang tinggi. Hal ini adalah karena makin banyaknya unsur paduan Cu dan Li yang berdifusi dari batas butir ke bagian tengah butir, sehingga pada waktu proses penuaan akan lebih banyak presipitat yang terbentuk.

Penuaan alamiah menaikkan kekerasan dari HRH 59 menjadi HRH 65. Proses penuaan buatan pada suhu 150°C menaikkan dari HRH 59 menjadi maksimum HRH 80 (3). Kekerasan puncak ini dicapai setelah *artificial aging* berlangsung selama satu minggu pada suhu 150 °C. Setelah itu

kekerasan justru akan menurun. Penurunan kekerasan ini adalah karena *overaging*.

Penuaan pada suhu 200°C hanya sedikit menaikkan kekerasannya, yaitu dari HRH 59 menjadi HRH 65 (maksimum) yang dicapai dengan waktu pemanasan 36 jam, setelah itu terjadilah *overaging*.

KESIMPULAN

Beberapa hal dapat disimpulkan dari percobaan/ penelitian pembuatan paduan Al-Cu-Li ini adalah :

- Masalah pemaduan dengan unsur Li dapat diatasi dengan menggunakan pencairan pada kondisi vakum. *Krusibel* yang dipakai adalah grafit, yaitu untuk mencegah terjadinya reaksi antara logam cair dengan *krusibel* tersebut.
- Butir yang diperoleh dari hasil coran ternyata masih kasar, yaitu sekitar 0,5 mm. Untuk menghaluskan butir disarankan perlu penambahan TiB₂ pada waktu penuangannya.
- Segregasi unsur paduan Cu dan Li terlihat mengumpul di batas butir dan sekitarnya. Proses homogenisasi pada 500°C selama 24 jam atau lebih akan membantu meratakan distribusi unsur paduan. Proses homogenisasi ini ternyata memberikan pengaruh pada hasil peningkatan kekerasan pada proses penuaan.
- Proses pengerasan presipitasi pada suhu 150 °C akan menghasilkan kekerasan puncak HRH 80 bila pemanasannya berlangsung satu minggu. Pemanasan yang lebih lama ataupun lebih tinggi suhunya akan menyebabkan *overaging* sehingga kekerasannya akan turun.

DAFTAR PUSTAKA

- De Jong, H.F., "Aluminium Lithium Alloys : The Answer of The Aluminium Industri to The Threat of Advanced Fibre Reinforced Materials ", Report LD 406, Dept of Aerospace Eng, Delft University of Technology, 1984.
- Cieslak, S.J., et al., "ALCOA Alithalite Alloy 2080 : Technical Information ", ALCOA Center, Pennsylvania, 1985.
- Mondolfo, L.F., "Aluminium Alloys Structure and Properties Butterworths, London, 1976.
- Siregar, S., "Penelitian Pembuatan dan Pengerasan Presipitasi Paduan Al-Cu-Li", Tugas Sarjana S-1, Jurusan Teknik Mesin, ITB, 1987.
- Sun'an, M., "Proses Pengerasan Presipitasi Paduan Al- Cu-Li", Tugas Sarjana S-1, Jurusan Teknik Mesin, ITB, 1988.
- Suprastowo, "Struktur Mikro Paduan Al-Cu-Li", Tugas Sarjana S-1, Jurusan Teknik Mesin, ITB, 1988.

DISKUSI

Lasijo :

Mohon penjelasan apakah banyaknya Li dalam paduan Al masih dapat diperbesar daripada 3 %, dan apakah hubungan dengan kekuatannya masih linier? Bahan ini kelihatannya sangat menarik untuk dapat dipakai sebagai *shielding* terhadap neutron karena over sectionnya terhadap *thermal* neutron besar (terutama Li_7), juga tidak memancarkan gamma.

Mardjono Siswosuwarno :

Penambahan Li sampai diatas 3 %, tidak akan efektif lagi dalam precipitaion hardening. Demikian pula mengenai pengaruhnya terhadap kekakuan. Oleh karena itu, ditinjau dari pemakaiannya untuk struktur ringan, pepaduan dibatasi sampai 3 % saja.