

EFEK PERLAKUAN PANAS DAN PENDINGINAN TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK BAHAN KELONGSONG ELEMEN BAKAR REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY

Sigit, Muchlis Badruzzaman, Elin Nuraini
Pusat Elemen Bakar Nuklir

ABSTRAK

EFEK PERLAKUAN PANAS DAN PENDINGINAN TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK BAHAN KELONGSONG ELEMEN BAKAR REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY. Telah dipelajari pengaruh perlakuan panas pada suhu 85 - 500 °C dalam waktu bervariasi 3 - 12 jam dan diikuti dengan pendinginan mendadak dengan air, pasir atau udara terhadap sifat mekanik yaitu kekuatan tarik, perpanjangan, modulus elastisitas dan kekerasan dari bahan kelongsong elemen bakar yang digunakan pada Reaktor Serba Guna RSG-GAS khususnya AlMg₂. Hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk pendinginan dengan air, pasir dan udara, pemanasan selama 6 jam pada suhu 85 s/d 300 °C terjadi penurunan kekuatan tarik (*Ultimate Tensile Strength / UTS*) dari keadaan awal 234,09 N/mm² menjadi 170,5 N/mm², tetapi setelah 300 °C UTS turun masing-masing menjadi 144,22 N/mm², 130,3 N/mm² dan 99,58 N/mm². Kenaikan suhu dari 28 s/d 200 °C menyebabkan pemanjangan dari 19,32 ke 27,88 %, setelah itu kenaikannya relatif cepat sampai suhu 300 °C yaitu 49,77 %, namun setelah itu masing-masing turun menjadi 35,95 %, 31,55 % dan 12,62 % pada suhu 500 °C. Sementara itu hasil pengujian kekerasan memperlihatkan bahwa untuk AlMg₂, pemanasan pada 85 - 300 °C selama 3 jam menurunkan kekerasan dari 69 sampai 43 kg/mm², selama 6 jam menurunkan dari 58 sampai 43 kg/mm² dan selama 12 jam menurunkan dari 70 sampai 42,5 kg/mm². Setelah 300 °C penurunannya relatif kecil. Dibandingkan dengan kekerasan awal (72 kg/mm²) kekerasan terendah diperoleh pada pemanasan 500 °C, waktu 3 jam, pendingin udara yaitu sebesar 39,2 kg/mm². Pengaruh media pendingin pada suhu pemanasan 85-300 °C tidak berbeda nyata baik untuk air, pasir maupun udara.

ABSTRACT

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT AND COOLING MEDIA ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FUEL ELEMENT CLADDING MATERIAL OF MULTIPURPOSE REACTOR G.A. SIWABESSY. Effect of heat treatment at 85 - 500 °C for 3 - 12 hours than cooled immediately by water, sands or air on mechanical characteristics, i.e., tensile strength, elongation, elastic modulus and hardness of fuel element cladding material of Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy, AlMg₂, has been carried out. The experiments showed that the heat treatment at 85 - 300 °C for 6 hours using water, sands or air as cooling media caused the decreasing of Ultimate Tensile Strength (UTS) from initial condition 234.09 N/mm² to 170.5 N/mm² and after 300 °C its decreased to 144.22 N/mm², 130.3 N/mm² and 99.58 N/mm² respectively. For water, sands or air cooling media at the temperature range of 28 to 200 °C, the elongation increased from 19.32 to 27.88 %, than increased quickly to 49.77 % at 300 °C and at 500 °C decreased to 35.95 %, 31.55 % dan 12.62 % respectively. The hardness test showed that the heat treatment at 85 to 300 °C for 3 hours decreased the hardness of AlMg₂ from 69 to 43 kg/mm², for 6 hours decreased from 58 to 43 kg/mm² and for 12 hours decreased from 70 to 42.5 kg/mm². After 300 °C its decreasing was small relatively. The hardness of AlMg₂ before treated was 72 kg/mm². The lowest hardness was obtained at heat treatment condition of 500 °C for 3 hours, in air cooling media i.e., 39.2 kg/mm². The cooling media, water, sands or air did not influence significantly at the heating temperature of 85 to 300 °C.

PENDAHULUAN

Penguasaan teknologi fabrikasi elemen bakar nuklir secara penuh merupakan strategi Batan di bidang Teknologi produksi Elemen Bakar baik untuk reaktor riset tipe MTR (*Materials Testing Reactor*) maupun untuk reaktor daya. Khusus untuk reaktor riset, RSG-GAS Serpong telah menggunakan paduan aluminium sebagai bahan struktur dan pendukung elemen bakar. Bahan ini dipilih karena sifat-sifatnya yang memenuhi persyaratan seperti tahan korosi, mempunyaiampang serapan neutron rendah, kekuatan dan ketangguhan yang memadai, mudah dibentuk, konduktivitas panas baik dll.^[1,2]

Di dalam reaktor, paduan aluminium sebagai bahan struktur dan pendukung elemen bakar mengalami berbagai kondisi misalnya radiasi pada fluks tinggi, kemungkinan korosi karena berada didalam air, perubahan suhu dll. Hal ini tentu saja dapat mempengaruhi sifat-sifat aluminium seperti sifat mekanik, fisik, nuklir, panas dsb.^[2,3]

Dalam penelitian ini dipelajari karakteristik mekanik pra-iradiasi dari paduan logam aluminium sebagai bahan struktur dan pendukung yang digunakan pada RSG-GAS khususnya AlMg₂. Variabel yang dipelajari adalah pengaruh suhu, waktu pemanasan dan jenis

media pendingin yaitu air, pasir dan udara terhadap sifat mekanik berupa kekuatan tarik, modulus elastis, perpanjangan, dan kekerasan.

TEORI

Sifat mekanik yang dipelajari pada penelitian ini adalah kekuatan tarik, perpanjangan, tegangan luluh, tagangan patah, modulus elastik serta kekerasan.

Kekuatan tarik

Untuk mengetahui sifat mekanik, maka setelah sampel mengalami proses perlakuan dilakukan pengujian tarik yang merupakan dasar dalam mempelajari kekuatan bahan yang banyak dipakai untuk pengujian bahan industri^[3,4].

Pengujian tarik dilakukan terhadap sampel (benda uji) dengan bentuk dan ukuran tertentu mengikuti standar ASTM, JIS, DIN atau ISO. Dalam pelaksanaannya, benda uji ditarik sampai patah dengan beban yang kontinu sambil diukur pertambahan panjangnya. Akibat penarikan tersebut menyebabkan timbulnya tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*). Bentuk kurva tegangan- regangan dari suatu bahan tergantung pada komposisi, perlakuan panas, suhu, sejarah awal terbentuknya deformasi plastik dan kecepatan regangan^[4].

Besaran tegangan, σ , dan regangan, ϵ , dapat ditulis :

$$\sigma = F/A$$

dengan A adalah luas penampang. Satuan tegangan yaitu N/mm², MPa atau kgf/mm².

$$\epsilon = (l - l_0)/l_0$$

dengan l_0 = panjang awal, l = panjang pada saat patah. Regangan dapat dinyatakan dengan %. Terjadinya deformasi di daerah elastik memperlihatkan sifat berbanding lurus dengan tegangan. Hubungan lurus ini disebut modulus elastik, E, (Modulus Young).

$$E = \sigma / \epsilon$$

Dari kurva tegangan-regangan dapat dihitung :

- Kekuatan tarik (*Ultimate tensile strength*):

$$\sigma_u = F_{maks}/A_0 \quad (A_0 = \text{luas penampang mula-mula})$$

- Kekuatan luluh (*yield strength*) : $\sigma_y = F_y/A_0$ (ditentukan dengan metoda *off set* ($\sigma_{0.2}$) yaitu tegangan yang menyebabkan terjadinya deformasi plastik sebesar 0,2 %)
- Tegangan patah : $f = F_f/A_0$

Kekerasan

Pengujian kekerasan bahan dapat dilakukan dengan metoda penekanan atau indentasi yaitu Brinell, Vickers, Rockwell dll. Pada pengujian kekerasan dengan cara Brinell, sebagai dasar digunakan luas bekas penekanan oleh bola baja pada beban tertentu. Angka kekerasan Brinell (H) dapat dinyatakan sbb.^[5,6] :

$$H = \frac{\text{beban}}{\text{luas bekas penekanan}} = \frac{P}{(D/2) \{D - \sqrt{D^2 - d^2}\}}$$

$$= \frac{P}{\pi Dt} \quad (\text{kg/mm}^2)$$

dengan P = beban, D = diameter bola, d = diameter lekukan, t = kedalaman jejak.

TATA KERJA

Bahan

Bahan yang dipakai adalah skrap AlMg2 yang diperoleh dari IPEBRR yang merupakan sisa-sisa pembuatan kelongsong lemen bakar. Paduan aluminium AlMg2 telah mengalami reduksi 55 % dari ketebalan awalnya. Komposisi awal dari kedua bahan tersebut adalah sebagai berikut : AlMg2 : Si = 0,13 %, Mg = 2,07 %, Cr = 0,01 %, Ti = 0,005 % 2. Sebagai bahan pembersih oli, minyak, lemak dsb. digunakan *tetrachloroethene extra pure* (C₂Cl₄) untuk proses *degreasing*.

Alat

1. Pemotong logam
2. Bor listrik
3. Alat ukur dimensi
4. Mesin Instron 1185 kapasitas 10 ton dan pencatat
5. Alat uji kekerasan

Cara kerja

1. Bahan AlMg2 dipotong kecil-kecil lalu dibersihkan dari kotoran dan dikenai proses *degreasing* dengan menggunakan C₂Cl₄.
2. Bahan tersebut dibentuk menjadi benda uji tarik menurut standar JIS 7 menggunakan

pisau potong logam, bor dan alat ukur dimensi.

3. Benda uji tarik dikenai proses perlakuan panas pada suhu 85, 200, 300 dan 500 °C dengan waktu 3, 6 dan 12 jam.
4. Setelah mengalami perlakuan panas, benda uji didinginkan mendadak dengan air, pasir atau udara.
5. Selanjutnya dilakukan pengukuran kekuatan tarik atas benda uji pasca perlakuan panas dan pendinginan menggunakan mesin Instron. Juga dilakukan pengukuran kekerasan dengan metoda Brinell.

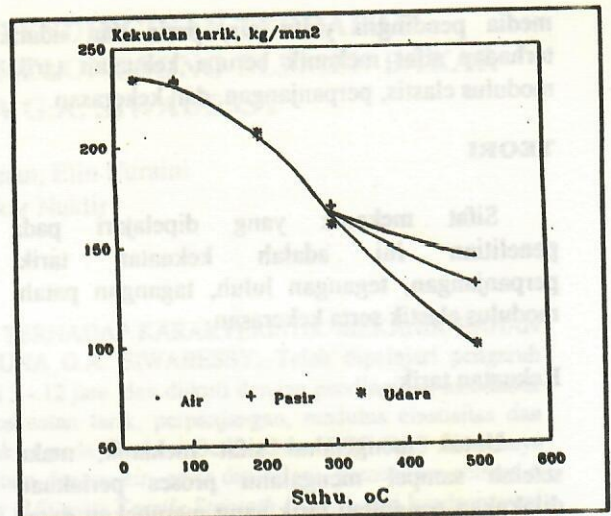
HASIL DAN BAHASAN

Pengaruh suhu

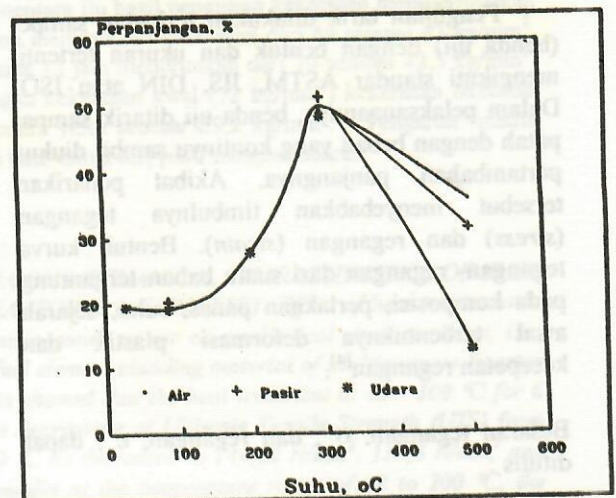
Untuk mengetahui sifat mekanik yaitu kekuatan tarik, perpanjangan, modulus elastik, tegangan patah dan kekerasan, sampel AlMg2 yang telah mengalami perlakuan panas dan pendinginan dikenai uji tarik dan kekerasan. Berbagai macam media pendingin yaitu air, pasir dan udara digunakan guna mendinginkan sampel begitu selesai mengalami perlakuan panas. Pengaruh suhu dengan parameter jenis media pendingin dapat dilihat pada gambar 1-3. Sampai dengan suhu 300 °C perbedaan jenis pendingin baik air, pasir maupun udara tidak memberikan dampak terhadap variasi sifat mekanik yaitu kekuatan tarik, perpanjangan serta kekerasan. Tetapi di atas 300 °C perbedaan pendinginan secara kualitatif sudah memberikan pengaruh terhadap kekuatan mekanik. Hal ini mungkin terkait dengan perubahan struktur mikro yang dipengaruhi oleh laju pendinginan.

Di sini tampak pula bahwa kenaikan suhu menurunkan kekuatan tarik dari keadaan awal 234,09 N/mm² menjadi 144,22 N/mm², 130,3 N/mm² dan 99,58 N/mm² masing-masing untuk pendinginan dengan air, pasir dan udara (gambar 1). Hal ini diduga karena adanya perubahan mekanisme deformasi pada suhu yang lebih tinggi^[5].

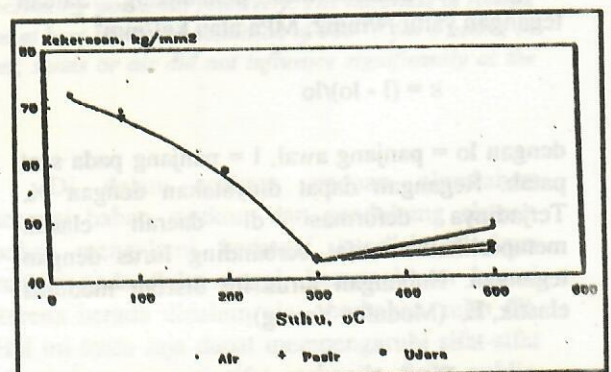
Kenaikan suhu menyebabkan penambahan perpanjangan (gambar 2) sebaliknya menurunkan kekerasan (gambar 3). Hal ini dapat dimaklumi karena makin tinggi suhu maka keuletan (*ductility*) bahan bertambah sedangkan kekerasannya berku-



Gambar 1. Pengaruh suhu terhadap kekuatan tarik AlMg2 dengan parameter jenis pendingin. Waktu pemanasan 6 jam.



Gambar 2. Pengaruh suhu terhadap perpanjangan AlMg2 dengan parameter jenis pendingin. Waktu pemanasan 6 jam.



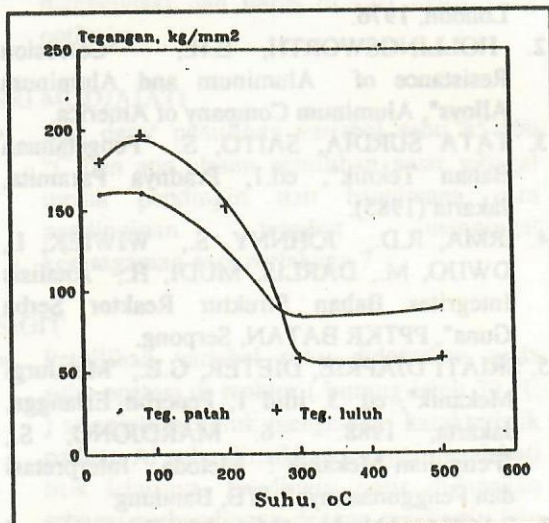
Gambar 3. Pengaruh suhu terhadap kekerasan AlMg2 dengan parameter jenis pendingin. Waktu pemanasan 6 jam.

rang. Keadaan ini berlangsung hingga suhu 300 °C. Pada interval suhu 300-500 °C terjadi hal yang sebaliknya yaitu perpanjangan menurun (keuletan berkurang) dan kekerasan bertambah.

Selanjutnya pengaruh suhu terhadap tegangan patah (σ_f) dan tegangan luluh (yield strength/ $\sigma_{0,2}$) dapat dilihat pada gambar 4. Dengan naiknya suhu maka tegangan patah dan tegangan luluh menurun sampai 300 °C. Namun seperti halnya grafik pengaruh suhu terhadap kekuatan tarik, perpanjangan dan kekerasan, maka setelah 300 ° kurva σ_f dan $\sigma_{0,2}$ relatif tetap.

Sementara itu hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka modulus elastik (modulus Young) menurun (tabel 1). Secara teoritis harga tersebut adalah tetap walaupun bahan AlMg2 mengalami perlakuan panas.

Modulus elastik sebenarnya merupakan sifat mekanik bahan yang sulit mengalami perubahan karena ditentukan oleh gaya ikat antar atom yang tidak dapat diubah tanpa adanya perubahan mendasar dari sifat bahannya. Adapun faktor-faktor yang dapat mengubah sifat ini sehingga terjadi perbedaan modulus elastik adalah adanya penambahan logam paduan, perlakuan panas atau pengerjaan dingin^[5].



Gambar 4. Pengaruh suhu pada σ_f dan $\sigma_{0,2}$, waktu pemanasan 6 jam, media pendingin udara.

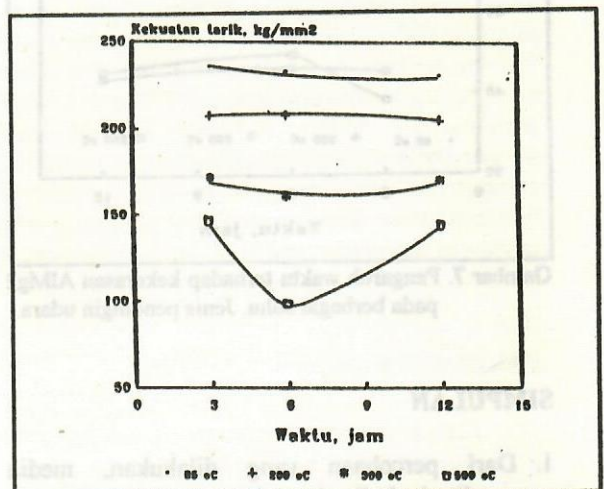
Tabel 1. Harga modulus elastik AlMg2 pada berbagai suhu dan waktu (jenis pendingin udara).

Suhu, °C	Modulus Elastik, N/mm ²
28	7083,13
85	7057,7

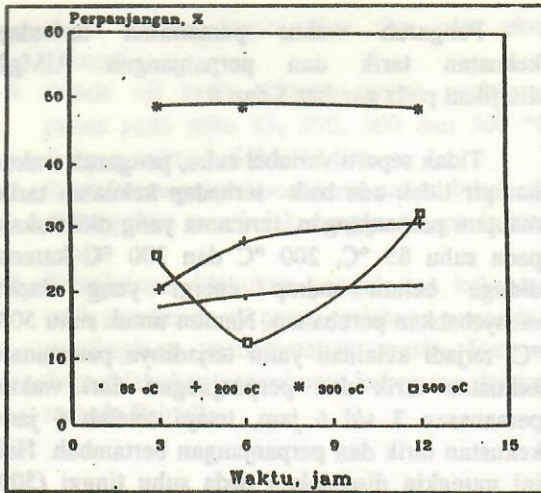
Pengaruh waktu

Pengaruh waktu pemanasan terhadap kekuatan tarik dan perpanjangan AlMg2 disajikan pada gambar 5 dan 6.

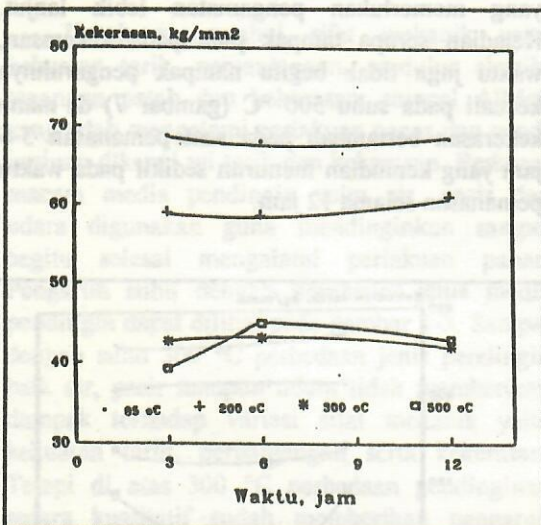
Tidak seperti variabel suhu, pengaruh waktu hampir tidak ada baik terhadap kekuatan tarik maupun perpanjangan, terutama yang ditentukan pada suhu 85 °C, 200 °C dan 300 °C karena diduga belum cukup energi yang dapat menyebabkan perubahan. Namun untuk suhu 500 °C, terjadi kelainan yaitu terjadinya penurunan kekuatan tarik dan perpanjangan dari waktu pemanasan 3 s/d 6 jam, tetapi setelah 6 jam kekuatan tarik dan perpanjangan bertambah. Hal ini mungkin disebabkan pada suhu tinggi (500 °C) telah terjadi perubahan-perubahan selama proses pemanasan berlangsung seperti misalnya perubahan fasa, struktur mikro, komposisi dsb. yang memerlukan pengamatan lebih lanjut. Kejadian serupa tampak pula pada kekerasan, waktu juga tidak begitu nampak pengaruhnya kecuali pada suhu 500 °C (gambar 7) di mana kekerasan bertambah pada saat pemanasan 3-6 jam yang kemudian menurun sedikit pada waktu pemanasan selama 12 jam.



Gambar 5. Pengaruh waktu terhadap kekuatan tarik AlMg2 pada berbagai suhu. Jenis pendingin udara.



Gambar 6. Pengaruh waktu terhadap perpanjangan AlMg2 pada berbagai suhu. Jenis pendingin udara.



Gambar 7. Pengaruh waktu terhadap kekerasan AlMg2 pada berbagai suhu. Jenis pendingin udara.

SIMPULAN

1. Dari percobaan yang dilakukan, media pendingin baik air, pasir maupun udara tidak memberikan perbedaan yang berarti terhadap sifat mekanik seperti kekuatan tarik, perpanjangan, tegangan patah dan luluh maupun kekerasan dari bahan struktur dan pendukung reaktor riset AlMg2 terutama pada suhu pemanasan antara 85-300°C. Antara suhu 300-500 °C hanya terdapat sedikit perbedaan, namun tidak terlalu besar.
2. Demikian juga halnya dengan waktu, maka untuk lama pemanasan dari 3-12 jam tidak memberikan perbedaan harga kekuatan tarik dan perpanjangan yang menyolok baik perlakuan panas dilakukan pada suhu 85°C, 200 °C maupun 300°C. Hanya pada suhu 500

°C terjadi penurunan kekuatan tarik dan perpanjangan untuk waktu pemanasan 3-6 jam, kemudian mengalami kenaikan pada kurun waktu 6-12 jam.

3. Untuk waktu pemanasan 6 jam, jenis pendingin udara, kenaikan suhu dari 28-300 °C menyebabkan kekuatan tarik menurun dari 234,09 N/mm² menjadi 170,5 N/mm², perpanjangan naik dari 19,32 % menjadi 49,77 %, kekerasan turun dari 72 kg/mm² 43 kg/mm², sedangkan pada 500 °C harga kekuatan tarik, perpanjangan dan kekerasan masing-masing adalah 99,58 N/mm², 12,62 % dan 39,2 kg/mm².

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Saudara Ir. Petrus Zacharias, Isfandi, Slamet Pribadi dan Hadijaya BSc. yang telah membantu penelitian hingga penulisan laporan.

DAFTAR PUSTAKA

1. MONDOLFO, L.F., "Aluminum Alloy Structure and Properties", Butterworth, London, 1976.
2. HOLLINGSWORTH, E.H., "Corrosion Resistance of Aluminum and Aluminum Alloys", Aluminum Company of America.
3. TATA SURDIA, SAITO, S., "Pengetahuan Bahan Teknik", ed.1, Pradnya Paramita, Jakarta (1985).
4. IRMA, R.D., JOHNNY, S., WIWIEK, I., DWIJO, M., DARLIS, MUDI, H., "Analisis Integritas Bahan Struktur Reaktor Serba Guna", PPTKR BATAN, Serpong.
5. SRIATI DJAPRIE, DIETER, G.E., "Metalurgi Mekanik", ed. 3, jilid 1, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1988.
6. MARDJONO, S., "Penguji Mekanik : Metoda, Interpretasi dan Penggunaannya", ITB, Bandung
7. RAGHAVAN, V., "Materials Science and Engineering", 2nd ed., Prentice-Hall of India Private Ltd., pp. 204 - 205, New Delhi (1981).

TANYA JAWAB

FRANSISCA A.E.T.

- Kekuatan tarik terhadap suhu/temperatur >300 °C berbeda untuk pendingin air, pasir, dan udara, sedangkan di bawah 300 °C tidak ada perbedaan yang berarti. Apa yang menyebabkannya ?
- Dari percobaan yang anda lakukan tampak tem-peratur 300 °C dan 500 °C menjadi

patokan adanya perubahan yang berarti terhadap karakteristik mekanik bahan. Kira-kira apa penyebabnya atau mekanisme apa yang terjadi pada temperatur tersebut ?

SIGIT

- Pada suhu < 300 °C diduga belum cukup energi untuk mengadakan suatu perubahan karakteristik, di samping itu perlu di lihat struktur mikronya.
- Benar, penjelasannya sama dengan no.1. Khusus untuk kekerasan, hal ini mungkin disebabkan oleh terbentuknya presipitat yang menyebabkan pengerasan.

NITA. S.

- Apakah alasan anda menggunakan pendingin air, udara, dan pasir ?
- Pendingin apakah yang paling baik untuk digunakan ?

SIGIT

- Untuk mendapatkan laju pendinginan yang berbeda-beda.
- Untuk suhu 85-300 °C relatif sama. Untuk suhu di atas 300 °C tergantung sifat yang dikehendaki dan harus di cari mana yang optimum.

SRI MUDJAJATI

- Apa dasar pemilihan variabel suhu 85-500 °C dan apa alasan pemilihan pasir sebagai media pendingin dan bagaimana cara pendinginan tersebut mengingat keseragaman cara perlakuan ?

SIGIT

- Pemilihan variabel suhu didasarkan pada suhu operasi di reaktor (kurang lebih 70 °C) selanjutnya untuk mengetahui karakteristik paduan Al suhu dinaikkan sampai mendekati titik leburnya. Pendingin pasir digunakan sebagai perbandingan dengan pendingin lain (air dan udara). Caranya sampel dipanaskan lalu segera dimasukkan ke dalam pasir.