

EFEK Pengerjaan Thermo-Mekanik pada Paduan AlMg2

M. Husna Al Hasa
Pusat Elemen Bakar Nuklir

ABSTRAK

EFEK Pengerjaan Thermo-Mekanik pada Paduan AlMg2. Pengerjaan thermo-mekanik berupa proses perolan panas dan annealing telah dikenakan kepada pelat AlMg2. Perolan panas pelat paduan AlMg2 dilakukan pada temperatur 400°C dengan deformasi bertahap, dan proses annealing berlangsung selama 1 jam pada temperatur 425°C. Pengamatan mikro-struktur dilakukan dengan metalografi-optik, pengujian kekerasan dilakukan dengan metoda Vickers dan pengukuran konduktivitas panas dilakukan dengan menggunakan konduktometer. Pengamatan secara metalografi-optik dan pengujian kekerasan dengan metoda Vickers menunjukkan adanya perubahan struktur mikro dan kekerasannya. Hasilnya menunjukkan bahwa perolan panas mengakibatkan bentuk butir berubah dari *equiaxial* menjadi pipih-memanjang dan bersifat lunak. Kekerasan mencapai sekitar 58,5 Kg/mm² untuk tingkat deformasi 18 %, 41 % dan 76 % serta 66 Kg/mm² untuk terdeformasi 133 %. Annealing selama 1 jam pada 425°C ternyata menyebabkan penurunan kekerasan menjadi sekitar (41 - 42) Kg/mm² untuk derajat deformasi 18 %, 41 % dan 76 % serta menjadi 39 Kg/mm² untuk derajat deformasi 133 %. Disamping itu diamati pula bahwa bentuk butir kembali menjadi *equiaxial* dan ukuran butirnya lebih besar. Hasil pengukuran dengan konduktometer pada paduan AlMg2 sebelum dan sesudah perolan panas memperlihatkan terjadinya penurunan harga konduktivitas termal dari 143 W/m°C menjadi 140 W/m°C.

ABSTRACT

EFFECTS OF THERMO-MECHANICAL TREATMENT ON ALMG2 ALLOY. Thermo-mechanical treatment consisting of hot rolling and annealing process has been applied to AlMg2 plate. The AlMg2 plate was addressed by hot rolling process at 400 °C with step deformation, and the AlMg2 plate was then annealed at 425°C for one-hour. The observation on the microstructure was performed by using optical metallography, the hardness test was performed using Vickers method, and thermal conductivity was measured using conductometer. Thermo-mechanical treatment generates changes in AlMg2 microstructures and mechanical properties. The changes have been identified using optical metallography and Vickers micro hardness test. The treatment transforms the AlMg2-equiaxial grain to elongated grain and the alloys hardness is still relatively soft. The hardness reaches about 58,5 Kg/mm² after deformation of 18 %, 41 % and 76 % and 66 Kg/mm² after deformation of 133 %. An one-hour annealing treatment at 425°C caused decreasing of the hardness to about (41 - 42) Kg/mm² for 18 %, 41 % and 76 % deformation and to about 39 Kg/mm² for 133 % deformation. This treatment makes the form of the grain equiaxial and the size of the grain larger. The results of the measurements using conductometer on the original AlMg2 alloy and it was addressed by hot rolling indicate that the thermal conductivity of 143 W/m°C to 140 W/m°C.

PENDAHULUAN

Aluminium adalah logam lunak dan ulet mem-punyai struktur kubus pusat muka (FCC). Aluminium juga merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan korosi, sifat penghantar listrik dan panas yang baik¹.

Paduan Aluminium-Magnesium memiliki kekuatan yang cukup memadai dan sifat termal yang baik. Paduan AlMg tidak bisa dikeraskan dengan perlakuan panas. Penguatan dan peningkatan kekerasan diperoleh melalui pembentukan larutan padat substitusional dengan mengganti kedudukan atom Al oleh atom Mg yang mengakibatkan distorsi kisi kristal logam induk yang selanjutnya menimbulkan medan tegangan disekitar atom yang tersubstitusi². Penguatan dan pengerasan paduan AlMg dapat pula diperoleh dengan cara pengerasan akibat regangan (*strain hardening*) yang dicapai mela-

lui proses perolan. Selain itu, deformasi perolan mengakibatkan ketidak teraturan pada kisi dan menimbulkan cacat kisi berupa kekosongan atom. Kondisi yang demikian menyebab-kan terjadinya perubahan sifat mekanik dan sifat termal, seperti konduktivitas panas. Konduktivitas panas menurun karena kecepatan gerakan elektron berkurang dan aliran panas terisolasi atau terhambat akibat adanya kekosongan atom.

Perolan panas dilakukan pada suhu di atas tempertur rekristalisasi logam yang diproses. Temperatur rekris-talisasi sangat dipengaruhi oleh besarnya derajat deformasi pada logam. Semakin besar deformasinya, temperatur rekris-talisasinya akan semakin rendah. Deformasi diatas temperatur rekristalisasi akan disertai dengan peristiwa pelunakan yang melibatkan mekanisme *recovery*, rekristalisasi dan pertumbuhan butir³. Besarnya pelunakan dari masing-masing mekanisme tersebut tergantung

pada jenis logam, temperatur dan kecepatan proses deformasi atau laju regangannya.

Bila logam dengan energi salah tumpuk (*stacking fault energy*) rendah, bila dideformasi pada temperatur tinggi, umumnya akan mengalami rekristalisasi selama berlangsungnya proses deformasi. Proses rekristalisasi yang demikian disebut dengan rekristalisasi dinamik sedangkan bila rekristalisasi terjadi setelah proses deformasi disebut dengan rekristalisasi statik. Rekristalisasi dinamik terjadi karena pada logam dengan energi salah tumpuk rendah mekanisme *recovery* tidak banyak perannya dalam proses pelunakan, sehingga energi pendorongnya cukup besar untuk menyebabkan terjadinya proses rekristalisasi³.

Aluminium mempunyai energi salah tumpuk cukup tinggi sekitar 200 erg/cm^2 sedangkan baja tahan karat 304 sebesar 20 erg/cm^2 ⁴. Aluminium dan paduannya karena memiliki energi salah tumpuk tinggi, meskipun dideformasi pada temperatur tinggi sering kali mempunyai bentuk butir memanjang dan tidak mengalami rekristalisasi. Meskipun demikian sifatnya relatif masih lunak karena peningkatan kekerasannya relatif kecil. Hal ini disebabkan oleh begitu besarnya peranan pelunakan oleh mekanisme *recovery*, khususnya *recovery* dinamik sehingga energi pendorongnya rendah dan tidak cukup mampu untuk mendorong terjadinya rekristalisasi dinamik.³

Dalam penelitian ini, perolan pelat AlMg2 dilakukan diatas temperatur rekristalisasi yaitu 400°C dengan deformasi perolan bertahap yaitu 18%, 41%, 76%, 133% dan proses annealing berlangsung selama 1 jam pada temperatur 425°C . Kajian yang dilakukan dalam penelitian ini ialah mengamati pengaruh pengerjaan termomekanik terhadap perubahan mikro-struktur, sifat mekanik dan sifat termal paduan AlMg2. Pengamatan mikro-struktur dilakukan dengan metalografi-optik dan pengujian kekerasan dilakukan dengan metoda Vickers dan pengukuran konduktivitas panas dilakukan dengan menggunakan konduktometer.

TATA KERJA

Bahan percobaan yang digunakan adalah pelat AlMg2 dengan unsur pemadu utama : Mg 1,7 - 2,4 %, dan unsur lainnya seperti Si < 0,3 %, Cr < 0,3 %, Mn < 0,3 %, Fe < 0,4 % dan Ti < 0,1%⁵

Proses perolan dilakukan pada pelat AlMg2 yang telah mengalami pemanasan pada 400°C

selama 30 menit dengan deformasi total, yaitu : 18%, 41%, 76% dan 133%.

Perlakuan panas terhadap cuplikan pelat AlMg2 yang telah dirol panas dilakukan di dalam tungku sirkulasi udara selama 1 jam pada temperatur 425°C .

Permukaan spesimen hasil perolan panas dan proses anil dietsa dengan larutan kimia yang terdiri dari 50 ml reagen Pulton dicampur dengan 25 HNO₃ dan 40 ml larutan 3 gram asam kromik per 10 ml H₂O⁶.

Pengamatan perubahan mikro struktur untuk setiap tahapan deformasi dilakukan dengan mikroskop optik. Pengukuran kekerasan dilakukan dengan metoda Vickers pada beban 200 gram terhadap pelat AlMg2 awal, pelat AlMg2 hasil pengerolan panas dan pelat AlMg2 setelah di anil. Pengukuran konduktivitas panas pelat AlMg2 sebelum dan sesudah perolan panas dilakukan dengan menggunakan alat konduktometer.

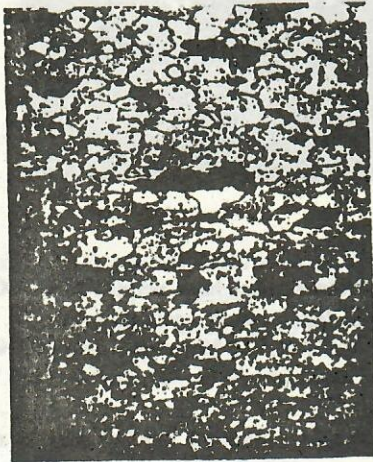
HASIL DAN BAHASAN

Hasil pengamatan dengan mikroskop optik pada spesimen AlMg2 awal, spesimen hasil pengerolan panas dan spesimen AlMg2 setelah dianil pada 425°C selama 1 jam untuk berbagai derajat deformasi ditunjukkan pada gambar 1, 2 dan 3. Pengaruh deformasi perolan pada kekerasan paduan AlMg2 setelah dirol panas dan setelah di anil pada 425°C selama 1 jam ditunjukkan pada gambar 4 dan 5. Hasil pengukuran konduktivitas panas dengan konduktometer pada paduan AlMg2 sebelum dan sesudah perolan panas diperlihatkan pada Gambar 6.

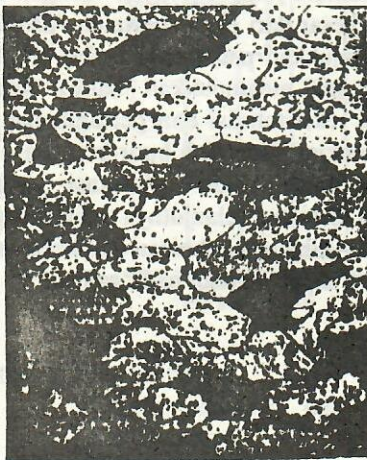


Gambar 1. Strukturmikro paduan AlMg2 awal

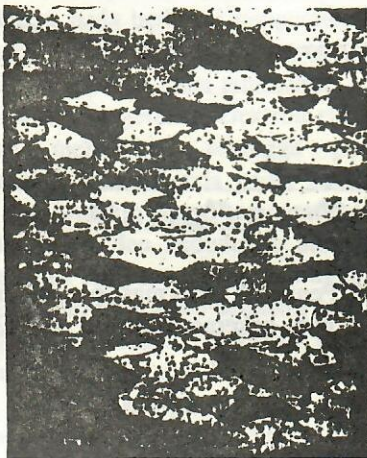
Gambar 1 memperlihatkan bahwa mikrostruktur paduan AlMg2 awal sebelum dikenai perolan panas memiliki struktur butir yang berbentuk *equiaxial* dan sifat kekerasannya yang relatif lunak serta rendah yaitu sebesar 42 Kg/mm² (Gambar 4).



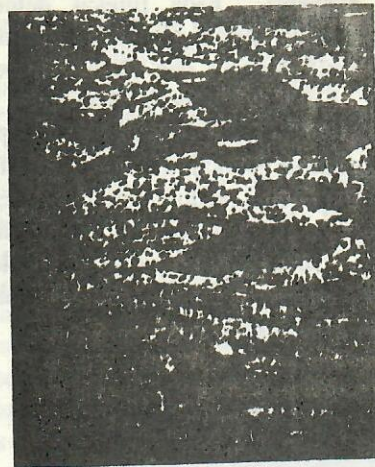
a



b



c



100 μm

d

Gambar 2. Struktur mikro hasil perolan pada 400°C
a. deformasi 18 % b. deformasi 41 %
c. deformasi 76 % d. deformasi 133 %

Mikro struktur paduan AlMg2 yang telah mengalami perolan panas pada berbagai deformasi ditunjukkan pada gambar 2, yang menunjukkan hal-hal sebagai berikut.

Pada gambar 2a terlihat bahwa mikrostruktur dengan deformasi 18 % memiliki ukuran butir relatif masih kecil dan tampak mulai terjadi perubahan dari bentuk *equiaxial* menjadi pipih. Gambar 4 memperlihatkan bahwa sifat kekerasannya mengalami peningkatan. Peningkatan kekerasan ini disebabkan karena bahan mengalami pengerasan oleh regangan.

Dari gambar 2b, 2c dan 2d menunjukkan bahwa struktur mikro dengan deformasi 41 % , 76 % dan 133 % tampak terjadi pembesaran butir dan bentuk butir yang memanjang. Hal ini menunjukkan bahwa pada deformasi tersebut terjadi proses pertumbuhan butir dan butir tidak mengalami rekristalisasi karena paduan AlMg memiliki energi salah tumpuk yang tinggi. Gambar 4 dapat diamati bahwa peningkatan kekerasan tidak dialami oleh spesimen dengan deformasi 41 % dan 76 % dan harganya relatif sama dengan kekerasan yang dipunyai oleh spesimen dengan deformasi 18 %. Disini menunjukkan bahwa peranan pelunakan oleh mekanisme *recovery* masih dominan khususnya *recovery* dinamik. Pada deformasi yang lebih tinggi yaitu pada 133 %, kekerasan paduan AlMg2 terlihat mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena pada deformasi yang lebih besar, butir-butir hasil deformasi memiliki energi-dalam tinggi, yang disebabkan oleh tingginya

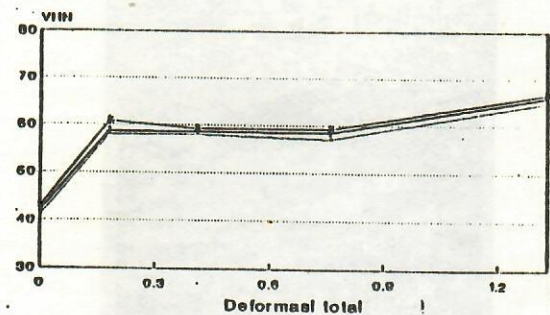
kerapatan dislokasi pada tingkat deformasi tersebut. Akibatnya terjadi pertumbuhan inti-inti baru yang lebih banyak dan akan membentuk butir yang banyak. Dengan demikian akan memperbanyak batas butir yang merupakan rintangan terhadap gerakan dislokasi. Disamping itu pembentukan fasa kedua dipercepat dengan makin besarnya derajat deformasi. Kehadirannya akan pula menghambat gerakan dislokasi sehingga memberikan kontribusi pada kenaikan kekuatan dan kekerasannya.



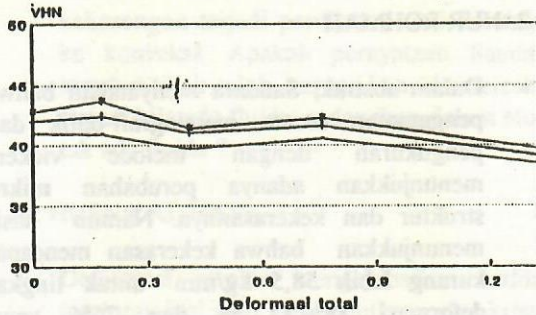
d 100 μ m

Gambar 3. Struktur mikro hasil perolan pada 400 °C dan dianil selama 1 jam pada 450 °C .
a. deformasi 18 % c. deformasi 41 %
c. deformasi 76 % d. deformasi 133 %

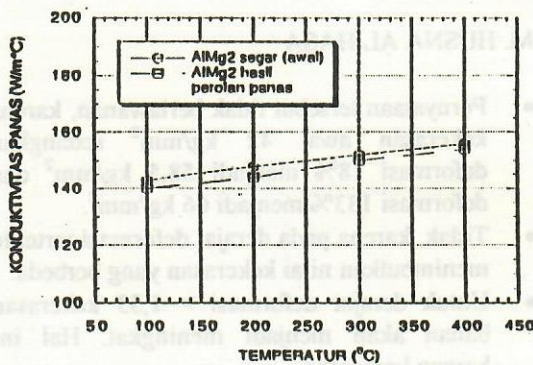
Mikrostruktur paduan AlMg2 setelah dianil pada temperatur 425°C terlihat bahwa butir-butir pipih-memanjang hasil perolan panas kembali kebentuk semula yaitu *equiaxial* dengan ukuran butir lebih besar dari pada spesimen AlMg2 awal seperti ditunjukkan pada gambar 3a, 3b, 3c dan 3d. Hal ini menunjukkan bahwa spesimen mengalami rekristalisasi dan pertumbuhan butir. Dengan demikian diperoleh butir-butir baru bebas regangan dan bebas dislokasi sehingga pergerakan dislokasi selanjutnya tidak mengalami hambatan. Akibatnya kekuatan dan kekerasannya turun seperti diperlihatkan pada gambar 5.



Gambar 4. Pengaruh deformasi perolan panas pada kekerasan paduan AlMg2.



Gambar 5. Pengaruh deformasi perolan panas pada kekerasan paduan AlMg2 setelah dianil selama 1 jam pada 450 °C



Gambar 6. Konduktivitas panas paduan AlMg2 sebelum dan sesudah perolan panas

Pada Gambar 6 ditunjukkan bahwa harga konduktivitas panas paduan AlMg2 hasil pengukuran pada berbagai temperatur cenderung meningkat pada temperatur yang semakin tinggi. Hal ini dikarenakan pada temperatur lebih tinggi vibrasi kisi dan gerakan elektron-elektron bebas semakin meningkat, sehingga panas yang berkonduksi dalam benda padat semakin cepat. Selain itu, semakin tinggi temperatur keteraturan kisi meningkat dan kedudukan atom-atom pada kisinya akan lebih sempurna sehingga cacat kisi berupa kekosongan atom semakin berkurang dan gerakan-gerakan elektron dapat dengan mudah berpindah melalui kisi. Konduktivitas panas paduan AlMg2 sebelum dan sesudah dikenai perolan panas diperlihatkan pada Gambar 6. Dari Gambar 6 tampak bahwa harga

konduktivitas panas terjadi penurunan setelah dikenai perolan panas. Hal ini ditunjukkan seperti pada titik pengukuran 100 °C, yaitu harga konduktivitas panas AlMg2 segar sebesar 143 W/m°C dan setelah mengalami perolan panas menurun menjadi 140 W/m°C. Hal ini dikarenakan deformasi perolan panas mengakibatkan terjadi peningkatan dislokasi yang ditandai dengan kenaikan kekerasan bahan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Kondisi seperti ini semakin meningkatkan ketidakteraturan kisi atau menimbulkan cacat kristal (kisi) seperti kekosongan atom. Ini menyebabkan terjadinya perubahan aliran panas konduksi menjadi aliran panas secara konveksi pada daerah yang mengalami kekosongan atom, sehingga perpindahan panas menjadi terhambat atau menurun. Dengan kata lain, bahwa aliran panas dalam benda padat terisolasi atau terhambat akibat adanya kekosongan atom. Selain itu, ketidakteraturan pada kisi akibat deformasi perolan menyebabkan berkurangnya mobilitas kecepatan gerakan elektron, sehingga mengakibatkan terjadi penurunan konduktivitas panas.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut.

1. Paduan AlMg2 hasil perolan panas mempunyai bentuk butir pipih memanjang karena tidak mengalami rekristalisasi. Hal ini disebabkan karena besarnya peranan mekanisme *recovery*, khususnya *recovery* dinamik.
2. Kekerasan paduan AlMg2 hasil perolan panas pada deformasi 18%, 41% dan 76% adalah relatif sama, tidak mengalami kenaikan. Pada deformasi 133% harga mengalami peningkatan, karena kerapatan dislokasinya tinggi dan kemungkinan terbentuknya fasa kedua yang akan menghambat gerakan dislokasi.
3. Proses *annealing* pada 425°C selama 1 jam menyebabkan penurunan kekerasan paduan AlMg2 hasil perolan panas. Hal ini karena pada proses anil logam mengalami rekristalisasi dengan terbentuknya kristal baru yang bebas regangan dan bebas dislokasi.
4. Konduktivitas panas paduan AlMg2 berkurang setelah dikenai proses perolan panas. Hal ini dikarenakan paduan AlMg2 mengalami peningkatan kerapatan dislokasi, sehingga terjadi ketidakteraturan kisi atau cacat kisi berupa kekosongan atom.

DAFTAR PUSTAKA

1. SURDIA, T., SAITO, S., "Pengetahuan Bahan Teknik", PT. Danippon Gitakarya Printing, Jakarta-Indonesia, 1985.
2. ALTENPOHL, D., "Aluminum Viewed From Within", Springer Verlag, Dusseldorf, 1982.
3. SISWOSUWARNO, M., "Teknik Pembentukan Logam", Institut Teknologi Bandung, 1985.
4. DIETER, G.E., "Mechanical Metallurgy", Second Edition, McGraw-Hill International Book Company, 1981.
5. Anonym, "Specifications for sheets of AlMg2", Document No. 14-MTR-06-02, NUKEM, October, 1982
6. METALS HANDBOOK, "Metallography, Structures And Phases Diagrams", Vol. 8, 8th Edition, American Society For Metals, 1973.
7. POLMEAR, I.J., "Light Alloys, Metallurgy Of The Light Metal", John Willey, Inc, 1979.

TANYA JAWAB

1. HARINI SOSIATI

- Apakah faktor yang paling dominan yang menghasilkan kekerasan yang hampir (relatif) konstan untuk tingkat deformasi 18%, 41%, dan 76% pada AlMg2 ?
- Apakah ada batas maksimum tingkat deformasi yang menyebabkan butir AlMg2 tetap berbentuk pipih pada waktu di rol panas ?
- Mohon dijelaskan bagaimana korelasi densitas dislokasi dengan *electron moving* dalam kaitannya dengan sifat konduktivitas termal !

M. HUSNA AL HASA

- Faktor yang dominan adalah mekanisme *Recovery* khususnya *Recovery* dinamik.
- Deformasi perolan pada AlMg2 menghasilkan butir berbentuk pipih memanjang. Hal ini karena AlMg2 memiliki energi salah tumpuk yang tinggi mencapai 200 erg/cm². Sedangkan batas maksimum derajat deformasi yang menyebabkan batas AlMg2 tetap berbentuk pipih pada perolan panas tidak ada.

Kerapatan dislokasi berhubungan dengan ketidakaturan kisi atau cacat kristal. Dengan demikian semakin tinggi kerapatan dislokasi, semakin meningkat ketidakaturan kisi. Sebagai akibatnya, ini menyebabkan berkurangnya gerakan elektron,

sehingga mengakibatkan terjadinya perbesaran konduktivitas poros.

2. NUR ROHMAH

- Dalam abstrak, Saudara menyatakan bahwa pengamatan secara metalografi-optik dan pengukuran dengan metode vickers menunjukkan adanya perubahan mikro struktur dan kekerasannya. Namun hasil menunjukkan bahwa kekerasan mencapai kurang lebih 58,5 kg/mm² untuk tingkat deformasi 18%, 11 % dan 76% yang ditanyakan :
 - 1). Apakah pernyataan tersebut di atas tidak berlawanan ?
 - 2). Apakah untuk tingkat deformasi berbeda memberikan nilai kekerasan yang sama ?
 - 3). Untuk tingkat deformasi 133% kekerasan = 66 kg/mm². Mohon jelaskan apakah untuk tingkat deformasi > nilai kekerasan akan meningkat ?

M. HUSNA AL HASA

- Pernyataan tersebut tidak berlawanan, karena kekerasan awal 42 kg/mm² sedangkan deformasi 18% menjadi 58,5 kg/mm² dan deformasi 133% menjadi 66 kg/mm².
- Tidak, karena pada derajat deformasi tertentu menimbulkan nilai kekerasan yang berbeda.
- Untuk derajat deformasi > 1,33 kekerasan bahan akan menjadi meningkat. Hal ini karena kerapatan dislokasi meningkat.

3. SUGONDO

- Mohon sebutkan penggunaan AlMg2. Sehubungan dengan kegunaannya tersebut, mohon jelaskan sifat yang mana yang bisa di perbaiki dengan proses termomekanik. Apakah hasilnya seperti yang diharapkan ?

M. HUSNA AL HASA

- Paduan AlMg2 digunakan sebagai bahan kelong-song bahan bakar.
- Sifat-sifat yang dapat diperbaiki dengan proses termomekanik antara lain adalah :
 - Sifat mekanik, seperti kekuatan dan kekerasan
 - Sifat termal, seperti konduktivitas panas
- Hasilnya sesuai dengan yang di harapkan.

4. MULYADI.R.

- Akibat pengerolan, daya hantar panas menurun menurut Saudara, karena ada kekosongan terjadi perubahan dari konduksi ke konveksi. Apakah pernyataan Saudara tersebut tidak salah, karena konveksi tersebut terjadi bila ada fluida, sedangkan dalam atom tak ada fluida ?

M. HUSNA AL HASA

- Deformasi perolan mengakibatkan ketidak teraturan kisi atau menimbulkan cacat kristal (kisi) seperti kekosongan atom. Dengan demikian perpindahan panas menjadi terhambat pada daerah yang mengalami kekosongan atom. Selain itu

gerakan elektron berkurang, sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan konduktivitas panas.

- Pernyataan perubahan dari konduksi ke konveksi, pada daerah yang mengalami kekosongan akibat ketidak teraturan kisi atau cacat kristal dapat dibenarkan. Hal ini dikarenakan pada daerah yang kosong akan terisi oleh fluida berupa gas. Perlu di ingat bahwa deformasi perolan panas berlangsung pada temperatur tinggi dan bahan mengalami pemanasan pada temperatur 400 °C. Dengan demikian hidrogen dapat larut ke dalam aluminium padat akibat reaksi permukaan dengan uap air selama berlangsungnya *solution treatment* dan di samping itu masih ada kandungan hidrogen bawaan material yang sukar di hilangkan.

