

14 NOV 1987



PROCEEDINGS ITB Vol. 13, No. 1/2, 1980

## **DAYA SERAP ENERGI TUMBUK DARI LOGAM PADUAN TEMBAGA—ALUMINIUM**

Harsono Wiryosumarto \*  
Komang Bagiasna  
Agus Hidayat  
Hendra Indra Wirawan

### **SARI**

Mesin-mesin mekanik banyak yang mempunyai komponen yang bekerjanya selalu mengalami peristiwa tumbukan, sehingga dalam pemilihan bahan untuk komponen tersebut di samping kekuatan perlu diperhatikan juga daya serap bahan terhadap energi tumbuk. Dalam penelitian ini dipelajari daya serap energi tumbuk yang diubah ke dalam energi deformasi elastik dari tujuh logam paduan Cu-Al serta ketergantungan daya serap tersebut terhadap modulus elastik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga modulus elastik lebih banyak dipengaruhi oleh struktur mikro logam paduan daripada oleh komposisi kimianya. Daya serapnya terhadap energi tumbuk yang diubah menjadi energi deformasi elastik menurun dengan naiknya harga modulus elastik.

### **ABSTRACT**

Many components of mechanical machinery, during their service, undergo impact forces frequently. Therefore in selecting the material for these components, both its strength and its capacity in absorbing impact energy should be taken into consideration. In this work the capacity to absorb impact energy which is then converted into elastic deformation energy of seven Cu-Al alloys is studied and related to their modulus of elasticity. The result of the study shows that elastic modulus is more influenced by microstructure of the alloy than by its chemical composition. Further more it confirms that the higher its elastic modulus the lower its impact energy absorbing capacity.

---

\* Departemen Mesin, Institut Teknologi Bandung

## PENDAHULUAN

Dalam peristiwa tumbukan antara dua benda selalu terjadi pemindahan energi dari benda yang satu kepada benda yang lain. Seperti halnya proses pemindahan energi pada umumnya, maka pada proses pemindahan tumbuk juga terdapat kehilangan atau kerugian energi. Jadi dengan adanya peristiwa tumbukan maka terjadi distribusi energi baru, yaitu bagian dari energi yang diserap dan dibawa oleh kedua benda yang bertumbukan dan bagian dari energi yang disebarkan dan diserap oleh media sekitarnya.

Pada mesin-mesin mekanik di dalam bekerjanya sering sekali didasari oleh peristiwa-peristiwa tumbukan, misalnya pada mesin tenun. Dalam mesin seperti ini bagian energi yang diserap oleh komponen-komponen mesin yang bertumbukan menjadi sangat penting, karena energi yang diserap tersebut akan diubah menjadi bentuk energi yang lain seperti energi deformasi plastik, energi deformasi elastik, energi getaran dan lain sebagainya. Jadi jelaslah bahwa dalam memilih bahan untuk komponen mesin yang demikian di samping kekuatan harus juga diperhatikan daya serap bahan terhadap energi tumbuk.

Sehubungan dengan uraian di atas, maka di dalam penelitian ini dipelajari kemampuan serap terhadap energi tumbuk dari logam paduan tembaga-aluminium yang diubah menjadi energi deformasi elastik, yang dengan sendirinya besarnya akan dipengaruhi oleh besarnya modulus elastik dari logam (1,2). Dalam penelitian ini dipilih bagian energi yang diubah menjadi energi deformasi elastik karena perencanaan mesin selalu diperhitungkan atas dasar beban-beban yang menyebabkan terjadinya perubahan atau deformasi elastik. Sedangkan bahan penelitian dipilih logam paduan tembaga aluminium, karena paduan ini dapat memberikan harga-harga modulus elastik yang cukup besar perbedaannya. Secara garis besar pelaksanaan dari penelitian ini adalah pembuatan dan persiapan bahan penelitian, pengukuran modulus elastik serta pengukuran energi yang diserap dan diubah menjadi energi deformasi elastik. Kemudian hasil-hasil pengukuran ini dikaitkan satu sama lain dan dianalisa berdasarkan teori-teori yang ada.

## CARA PENGUJIAN DAN PERALATAN YANG DIGUNAKAN

### Pembuatan dan persiapan bahan uji

Dibuat tujuh paduan tembaga-aluminium dengan mencairkan aluminium di dalam krusibel dan kemudian menambahkan tembaga yang diperlukan ke dalamnya. Setelah itu dilakukan proses homogenisasi dengan laku panas dan baru kemudian diadakan analisa kimia\*. Data-data persiapan dan hasil analisa kimia dari bahan uji ditunjukkan dalam Tabel 1.

Persiapan akhir dari bahan uji adalah memotong bahan tersebut menjadi batang-batang dengan ukuran lebar 20 mm, tebal 15 mm dan panjang 210 mm.

---

\* Departemen Kimia, Institut Teknologi Bandung

Tabel 1 Laku panas dan komposisi kimia bahan penelitian

Kode Bahan Penelitian	Laku panas		Komposisi Kimia Cu - Al (%)
	Suhu (°C)	Waktu (jam)	
A	900	12	98,9 - 1,0
B	700	12	78,6 - 18,7
C	550	12	61,8 - 38,1
D	500	12	50,1 - 49,8
E	500	12	25,0 - 74,9
F	500	12	11,5 - 88,4
G	500	12	1,5 - 98,4

### Pengukuran modulus elastik

Modulus elastik batang uji diukur dengan cara pengujian tak merusak dengan mempergunakan: Grindo-sonic MK 3.

Prinsip dasar daripada alat ini adalah sebagai berikut: suatu benda bebas yang dipukul akan melepaskan energi hasil pemukulan tersebut dalam bentuk getaran bebas yang dengan cepat menuju kepada getaran pribadi dari benda yang bersangkutan. Besarnya getaran pribadi inilah yang diukur oleh alat Grindo-sonic tersebut. Dalam hal ini getaran pribadi daripada suatu benda yang mengalami vibrasi bebas mempunyai hubungan erat dengan modulus elastiknya yang dalam alat Grindo-sonic tersebut dinyatakan oleh persamaan [1] berikut ini (3).

$$E = \frac{B \rho \ell^2}{R^2} \quad [1]$$

di mana: E = modulus elastik (KN/mm<sup>2</sup>)

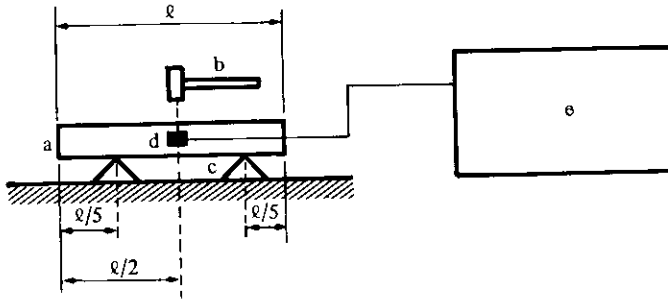
B = faktor bentuk

$\rho$  = rapat massa (gm/cm<sup>3</sup>)

$\ell$  = panjang batang (mm)

R = pembacaan pada Grindo-sonic

Skema pengukuran modulus elastik dengan Grindo-sonic ini ditunjukkan dalam Gambar 1.

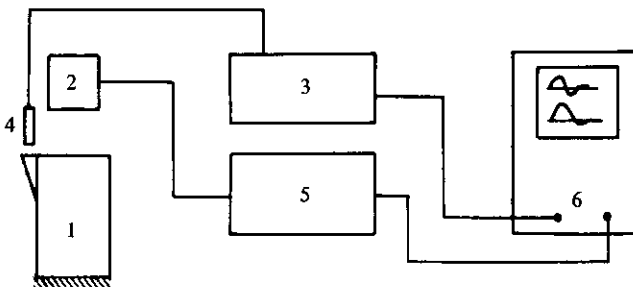


Keterangan: a = batang uji      c = penunpu      e = alat Grindo-sonic  
 b = pemukul      d = detektor Piezoelektrik      l = panjang batang uji

**Gambar 1** Skema pengukuran modulus elastik

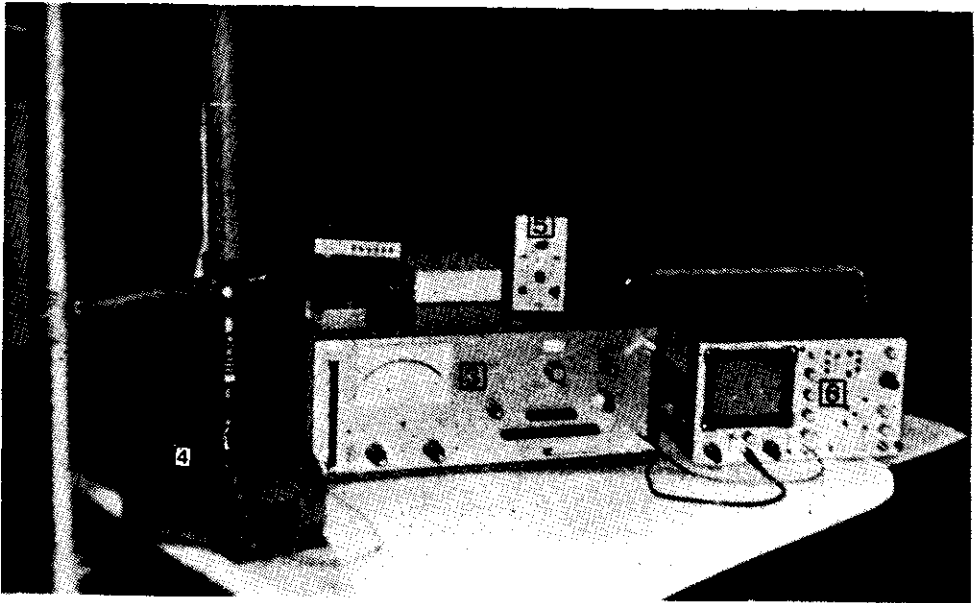
### Pengukuran energi deformasi elastik

Pengukuran energi deformasi elastik dilakukan dengan menjatuhkan pemberat dari suatu ketinggian tertentu terhadap batang uji. Dalam hal ini benda yang dijatuhkan dilengkapi dengan "strain gage" sehingga merupakan suatu "load-cell" yang digunakan untuk mengukur besarnya gaya tumbuk. Sedang deformasi elastik yang terjadi diukur dengan menggunakan non-contacting inductive displacement transducer proximator Bentley model 20929/06. Sinyal pengukuran gaya dan deformasi tersebut kemudian dimasukkan ke dalam oskiloskop Gould Advance type 8040 A, yang memiliki kemampuan merekam dan menyimpan sinyal listrik secara digital. Perekaman daripada kedua macam sinyal listrik yang berasal dari hasil pengukuran gaya-tumbuk dan pengukuran deformasi elastik dalam oskiloskop dilakukan dengan mempergunakan sinyal gaya tumbuk sebagai sinyal pelatuk luar (external trigger). Skema dan susunan peralatan dari cara pengukuran ini ditunjukkan dalam Gambar 2 dan Gambar 3.



Keterangan: 1. batang uji      3. penguat sinyal listrik      5. penguat sinyal listrik  
 2. Load-cell      4. Transducer inductive      6. Oskiloskop

**Gambar 2** Skema pengukuran gaya dan deformasi



**Gambar 3** Susunan peralatan pada pengukuran gaya dan deformasi. Keterangan angka-angka sama dengan keterangan Gambar 2.

Besaran listrik dari pada sinyal gaya tumbuk dan sinyal deformasi elastik yang terekam pada oskiloskop adalah tegangan listrik dalam volt. Dalam hal ini besarnya sensitivitas dari pada transducer induktif maupun load-cell diketahui dari hasil kalibrasi kedua alat tersebut, sehingga dengan demikian besarnya gaya tumbuk maupun deformasi elastik yang terjadi pada batang uji dapat dihitung. Kemudian besarnya energi tumbuk yang diubah menjadi energi deformasi elastik dihitung dengan rumus persamaan [2]:

$$U = \frac{F \cdot \delta}{2} \text{ (kg-mm)} \quad [2]$$

di mana  $U$  = energi deformasi elastik (kg-mm)  
 $F$  = gaya tumbuk (kg)  
 $\delta$  = deformasi elastik (mm)

## HASIL-HASIL PENGUKURAN DAN PENGOLAHAN DATA

### Modulus elastik

Seperti diterangkan sebelumnya, alat Grindo-sonic memberikan hasil pembacaan  $R$ , yang kemudian dimasukkan ke dalam persamaan [1], untuk menghitung

besarnya modulus elastik.

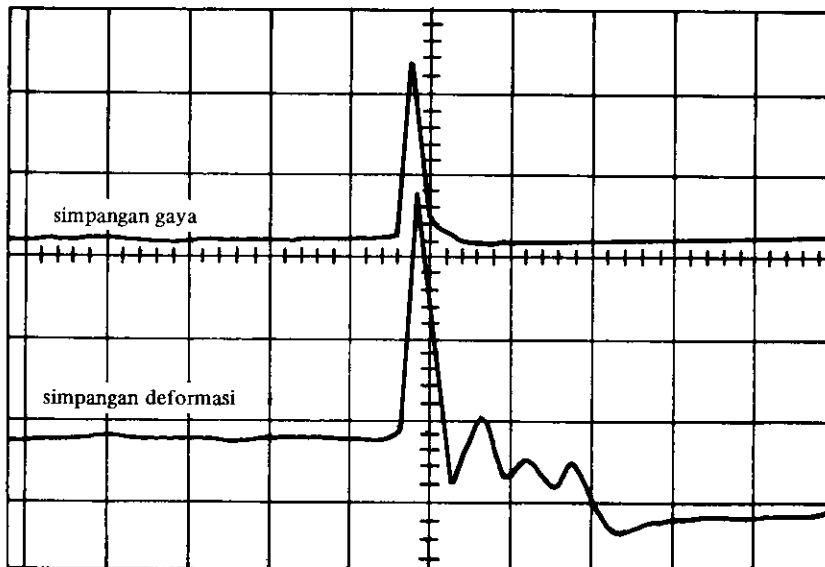
Hasil-hasil pengukuran dan data yang telah diolah ditabelkan dalam Tabel 2.

**Tabel 2** Hasil pengukuran dan pengolahan data modulus elastik

Kode Batang Uji	Pembacaan Grindo-sonic		Berat jenis bahan ( $\text{g/cm}^3$ )	Modulus elastik ( $\text{kg/mm}^2$ )		Modulus Elastik rata-rata ( $\text{kg/mm}^2$ )
	Pengukuran 1	Pengukuran 2		Pengukuran 1	Pengukuran 2	
A	1994	1603	8,50	8093	6590	7342
B	1244	848	6,30	14704	16652	15678
C	949	765	5,39	15130	16839	15985
D	1285	866	4,45	7974	11539	9504
E	1305	890	3,65	5280	7917	6599
F	1482	1203	3,20	5938	5743	5841
G	1456	981	2,70	5259	6627	5943

#### Penyerapan energi deformasi elastik

Berdasarkan pengukuran yang digunakan, maka yang dibaca dalam pengukuran ini adalah simpangan rekaman dalam oskiloskop yang menunjukkan besarnya gaya tumbuk dan besarnya deformasi elastik. Salah satu penunjukan hasil rekaman oskiloskop dapat dilihat dalam Gambar 4.



**Gambar 4** Rekaman oskiloskop

Penunjukan simpangan oleh oskiloskop setelah dikalikan dengan konstanta hasil kalibrasi akan mendapatkan harga gaya tumbuk dan deformasi elastik. Kemudian energi deformasi elastik dihitung dengan menggunakan persamaan [2] dan daya serap energi dari bahan uji dirumuskan sebagai energi yang diserap per satuan volume.

Hasil pengukuran dan pengolahan data dari penyerapan energi ini ditabelkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3** Hasil pengukuran dan pengolahan data penyerapan energi deformasi elastik

Batang uji	Simpangan oskiloskop (cm)		Gaya (kg)	Deformasi elastik (mm)	Energi deformasi (kg-mm)	Daya serap energi (kg-mm/mm <sup>3</sup> )
	Gaya	Deformasi				
A	2,43	2,47	286	0,19	46,1	8,8
B	1,30	2,50	260	0,19	24,7	4,2
C	1,03	1,83	206	0,14	14,4	2,4
D	1,30	2,00	260	0,12	15,6	2,6
E	1,30	2,90	260	0,17	22,1	3,7
F	1,35	3,50	270	0,21	28,3	4,9
G	2,60	3,20	520	0,19	49,4	8,7

## PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

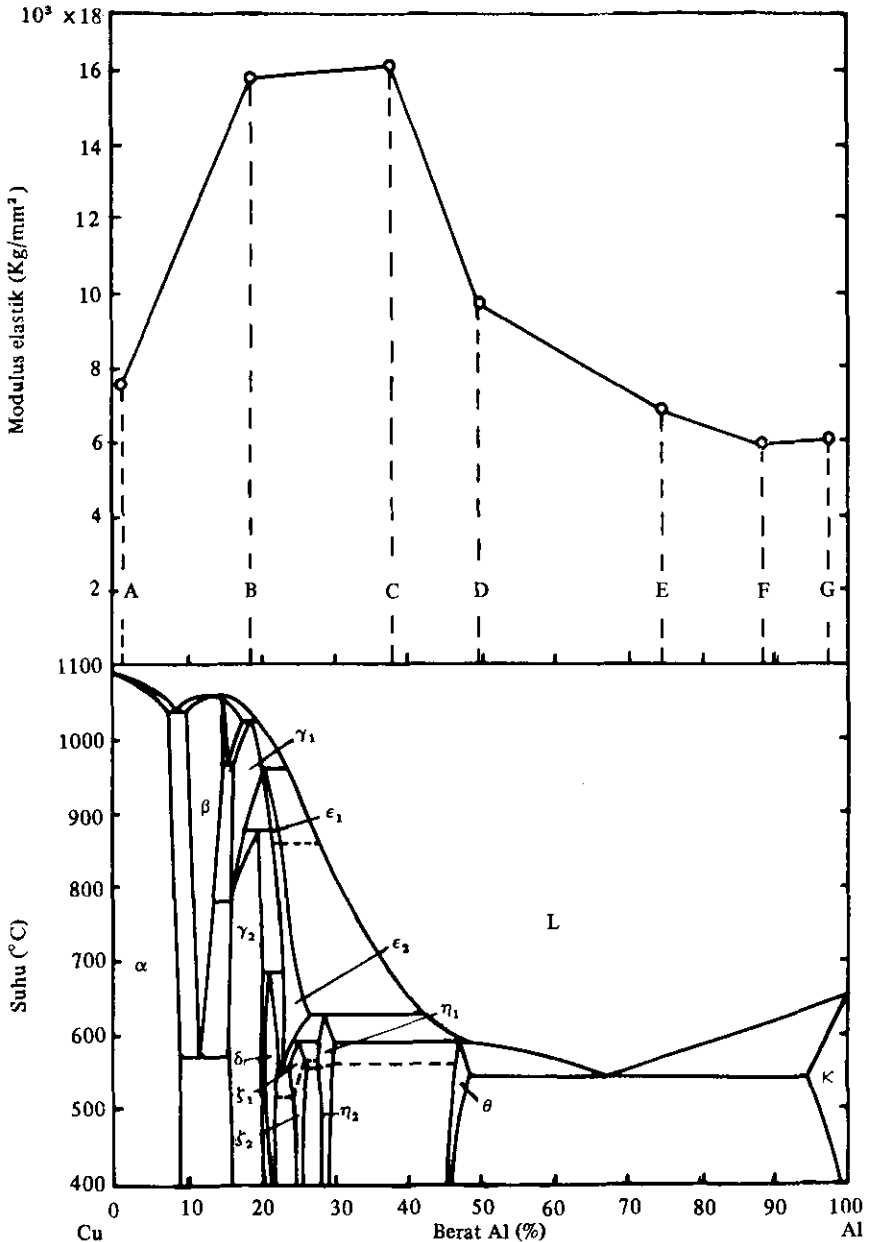
Telah disebutkan dalam pendahuluan bahwa besarnya energi deformasi elastik yang diserap dipengaruhi oleh besarnya modulus elastik. Dalam penelitian ini variasi harga modulus elastik didapat dengan membuat paduan Cu-Al dengan komposisi kimia yang berbeda. Jadi dalam hal ini perlu menganalisa lebih dahulu pengaruh komposisi terhadap modulus elastik dan baru kemudian dibahas pengaruh modulus elastik terhadap daya serap energi deformasi elastik.

### Pengaruh komposisi kimia terhadap modulus elastik

Dalam pembahasan pengaruh komposisi terhadap modulus elastik perlu dibuat diagram super posisi antara diagram fasa Cu-Al (4) dan hasil penentuan modulus elastik. Diagram yang dimaksud ditunjukkan dalam Gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa tidak ada pola tertentu yang menunjukkan hubungan antara harga modulus elastik dan komposisi. Karena itu hal ini perlu ditinjau secara teoritik.

Modulus elastik adalah konstanta yang menghubungkan antara kekuatan dan perubahan bentuk elastik yang pada dasarnya adalah pencerminan dari kekuatan ikatan atom dan jarak antar atom, sedangkan kekuatan ikatan atom sendiri merupakan turunan dari energi ikatan antar atom yang dalam hal ini dide-

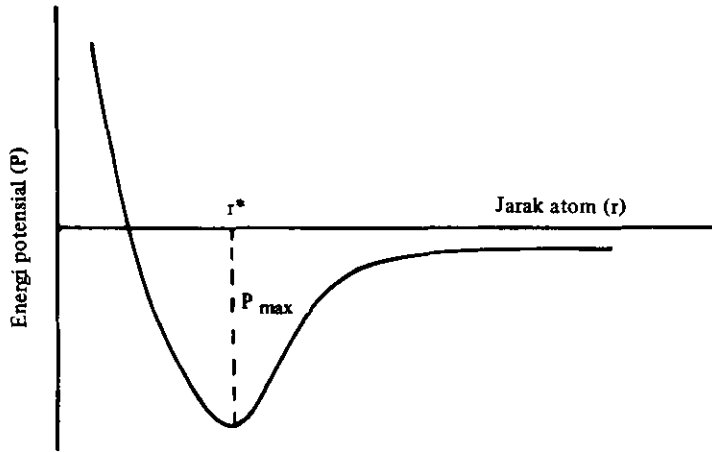
finisikan sebagai kerja yang diperlukan untuk memisahkan dua atom yang saling terikat sehingga jaraknya mencapai tidak terhingga. Berdasarkan definisi ini maka jelaslah bahwa kekuatan adalah pencerminan dari energi potensial antar atom.



Gambar 5 Superposisi diagram fasa Cu-Al dan harga modulus elastik



Garis besar energi potensial antar atom dan ketergantungannya terhadap jarak atom telah banyak diketahui (5) dan hubungan antara keduanya dapat digambarkan dalam bentuk kurva seperti yang terlihat dalam Gambar 6.



Gambar 6 Hubungan antara energi potensial antar atom dan jarak atom

Energi potensial P sebagai fungsi dari jarak atom (Gambar 6) dapat diuraikan dengan deret Taylor (6) menjadi bentuk persamaan [3].

$$P = P_{r^*} + \left(\frac{dP}{dr}\right)_{r^*} (r - r^*) + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2P}{dr^2}\right)_{r^*} (r - r^*)^2 \quad [3]$$

Gaya ikat antar atom F dapat diturunkan dengan mendiferensiasikan persamaan [3] dan dengan memasukkan harga  $\frac{dP}{dr} = 0$  untuk  $r = r^*$  maka besarnya gaya ikat F adalah:

$$F = -\frac{dP}{dr} = \left(\frac{d^2P}{dr^2}\right)_{r^*} (r - r^*) \quad [4]$$

Bila persamaan [4] dibandingkan dengan persamaan dari hukum Hooke:

$$\sigma = E\epsilon \quad [5]$$

di mana:  $\sigma$  = tegangan  
 $\epsilon$  = regangan  
 E = modulus elastik

maka dapat disimpulkan bahwa:

$$E \div \left(\frac{d^2P}{dr^2}\right)_{r^*} \quad [6]$$

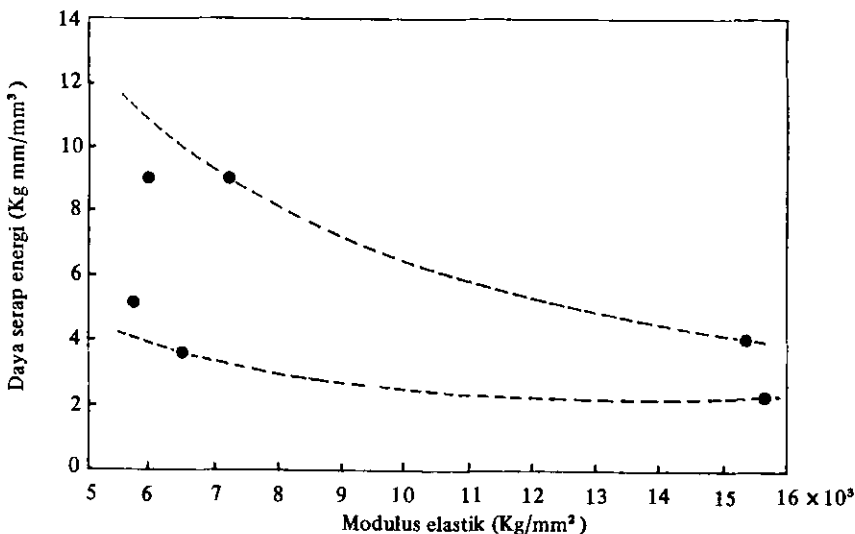
Bila persamaan (6) diterapkan pada kurva dalam Gambar 6, maka dapat disimpulkan bahwa harga modulus elastik  $E$  makin besar bila kurva energi potensial antar atom dalam Gambar 6 makin curam. Kecuraman dari kurva ini dengan sendirinya dipengaruhi langsung oleh jarak atom  $r^*$ , dan dalamnya sumur energi potensial  $P_{maks}$ . Dalam  $P_{maks}$  dicerminkan oleh kekuatan bahan yang juga tergantung oleh jarak atom, karena makin kecil jarak atom kekuatan bahan menjadi makin kuat. Berhubung dengan hal tersebut dan karena jarak atom ditentukan oleh susunan atom yang tercerminkan ke dalam struktur bahan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa modulus elastik lebih banyak dipengaruhi oleh struktur daripada oleh komposisi kimia.

Dengan analisa teoritik di atas maka harga modulus elastik  $E$  yang tidak mempunyai pola perubahan komposisi seperti ditunjukkan dalam Gambar 5 dapat diterangkan.

#### Hubungan antara daya serap energi deformasi elastik dengan modulus elastik

Setelah mengetahui bahwa komposisi kimia tidak banyak pengaruhnya terhadap modulus elastik, maka dalam membahas hubungan antara daya serap energi deformasi elastik dengan modulus elastik, komposisi kimia dari bahan tidak perlu dipertimbangkan lagi.

Berdasarkan hal tersebut maka harga-harga daya serap energi dan modulus elastik yang terdapat dalam Tabel 3 dipindahkan dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. Dari grafik ini dapat dilihat pola kecenderungan bahwa daya serap energi deformasi elastik turun dengan naiknya harga modulus elastik dari bahan uji.



**Gambar 7** Hubungan antara daya serap energi deformasi elastik dan modulus elastik

Untuk mengadakan analisa dari kecenderungan ini perlu dibahas perumusan dari energi deformasi elastik yang diselidiki yang besarnya dihitung berdasarkan rumus pada persamaan [2]. Dengan memasukkan hukum Hooke dan pengertian tentang tegangan maka persamaan [2] dapat diubah menjadi bentuk seperti persamaan [7], yaitu:

$$U/\text{vol} = \frac{\sigma^2}{2E} \quad [7]$$

Di mana:  $U/\text{vol}$  = daya serap energi  
 $\sigma$  = tegangan  
 $E$  = modulus elastik.

Dari persamaan [7] dapat disimpulkan bahwa kecenderungan yang terlihat dalam penelitian ini, yaitu daya serap energi deformasi elastik turun dengan naiknya harga modulus elastik, adalah sesuai dengan analisa teoritik.

## KESIMPULAN

Dalam penelitian ini ada dua kesimpulan yang dapat ditarik, yaitu:

1. Harga modulus elastik  $E$  dari logam paduan Cu-Al lebih dipengaruhi oleh struktur paduan daripada oleh komposisi paduan.
2. Daya serap energi deformasi elastik dari logam paduan Cu-Al menurun dengan naiknya harga modulus elastik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Barret, C.R., Nix. W.D. and Tetelman, A.S., *The Principle of Engineering Materials*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliff, NJ, 1973, p. 33.
- Decneut, A., *Tables for Simplified Calculation on Young's Modulus of Elasticity Based on Natural Frequency Measurements*, CRIF, Brussel, 1971, p. 60.
- Dieter Jr., G.E., *Mechanical Metallurgy*, Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York, NY, 1961, p. 60.
- Metals Handbook*, American Society for Metals, Metal Park, Ohio, 8<sup>th</sup> edition, vol. 8, p. 259.
- Thomas Jr., G.B., *Calculus and Analytic Geometry*, Addison Wesley Publishing Company Inc., Reading, Mass, 1956, p. 577.
- Timoshenko, S. and Goodier, J.N., *Theory of Elasticity*, Mc Graw-Hill Book Company Inc., New York, NY, 1951, p. 146.