

PROSES FORGING DENGAN VARIASI TEMPERATUR PADA PADUAN ALUMINIUM SERI 308,0 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN

Mardjuki*

Abstraksi

Salah satu proses pembentukan yang banyak digunakan saat ini adalah proses *forging* (tempa). Proses tempa merupakan proses pembentukan logam dengan cara penekanan ke dalam suatu cetakan sehingga logam tersebut membentuk *profil* sesuai dengan pola pada cetakan, sehingga terbentuk suatu produk. Pada proses *forging* ini menggunakan cetakan permanent yang terbuat dari logam baja.

Penelitian ini dilakukan pada bahan Aluminium paduan dengan memvariasikan temperatur *forging* mulai 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C. Perbedaan sifat mekanis diamati melalui beberapa pengujian yang meliputi: pengujian tarik dan kekerasan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur *forging* mulai dari 350°C, 400°C, 450°C dan 500°C, nilai kekuatan tarik dan kekerasan yang dihasilkan cenderung semakin menurun. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur pada proses *forging* maka pergerakan dislokasi akan semakin mudah sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik dan kekerasannya.

Kata Kunci: Proses *Forging* Paduan Al, Variasi Temperatur, Kekuatan Tarik dan Kekerasan

PENDAHULUAN

Prinsip dasar dari pembentukan logam adalah proses pembuatan dengan mengubah bentuk logam secara plastis dengan memberikan tegangan dari luar. Tegangan yang bekerja selama proses pengubahan bentuk (deformasi) diberikan mencapai kondisi luluh bahan (kondisi perubahan bentuk terkecil), kondisi luluh ini merupakan awal terjadinya perubahan bentuk secara plastis, sehingga bentuk yang dihasilkan tidak akan berubah kembali apabila beban yang bekerja dihilangkan. Tegangan yang bekerja ini dibatasi dengan kondisi tegangan *ultimate* (maksimum), karena apabila tegangan melebihi dari kondisi *ultimate*, maka produk akan mengalami retak / patah, sehingga kondisi deformasi bahan diusahakan terkontrol (sesuai dengan batasan luluh dan *ultimate strength*).

Salah satu proses pembentukkan yang banyak digunakan saat ini adalah proses *forging* (tempa). Proses tempa merupakan proses pembentukkan suatu logam dengan cara penekanan logam ke dalam suatu cetakan sehingga terbentuk suatu produk. Pada proses *forging* ini cetakan yang digunakan adalah cetakan permanent yang terbuat dari material baja.

KAJIAN PUSTAKA

Proses Penempaan (*Forging*)

Penempaan merupakan suatu pengerjaan logam yang tertu dan mempunyai asal usul dari pandai besi pada jaman dahulu. Proses penempaan walaupun telah mengalami kemajuan dalam teknologinya seperti menggunakan mesin sentrik dan hidrolis sebagai lengan dari pandai besi dan peralatan lainnya tetapi pada prinsipnya tetap sama. Prinsip penempaan adalah pengerjaan secara panas pada logam yang dilaksanakan dengan cara pemukulan dengan palu atau penekanan yang dihasilkan oleh mesin proses atau proses pengerjaan loga menjadi bentuk yang berguna dengan menggunakan penekanan dimana gaya yang diperoleh dengan cara menekan dengan beban yang

* Dosen Jurusan Mesin Univ. Merdeka Malang

ada permukaan logam. Pengerjaan yang paling biasa dan sederhana yang dilakukan dari semua proses penempaan yaitu memakai cara penekanan. Proses ini dilakukan dengan cara mengurangi ukuran lebar dan tebal benda kerja dengan cara penekanan yang berarti membuat ukuran benda kerja menjadi panjang. Dua jenis pengerjaan yang dilakukan yaitu dengan pengerjaan pengerjaan panas dan pengerjaan dingin yang dibatasi dengan temperatur rekristalisasi yaitu $(0,4 - 0,6) T_m^{\circ}K$.

Sebagian proses tempa dilakukan dalam keadaan panas walaupun beberapa logam dapat ditempa dalam keadaan dingin. Proses penempaan dibagi dalam dua kategori, yaitu :

- a. Penempaan cetakan terbuka (*open die forging*).
- b. Penempaan cetakan tertutup (*close die forging*).

Penempaan Cetakan Terbuka

Penempaan cetakan terbuka dilakukan diantara dua cetakan datar yang sederhana. Proses ini banyak digunakan untuk memproses benda kerja yang besar atau jumlah suku cadang yang dihasilkan sedikit. Seringkali penempaan ini digunakan untuk pembentukan awal benda kerja untuk penempaan cetakan tertutup. Benda kerja selalu lebih besar dari perkakas tempanya, karena itu pada setiap deformasi terbatas pada bagian kecil benda kerja. Contoh proses penempaan dengan cara ini yang paling sederhana adalah penekanan (*up setting*) bongkahan silindris diantara dua plat datar.

Penempaan Cetakan Tertutup

Pada penempaan cetakan tertutup aliran logam dibatasi oleh permukaan bentuk lubang atau rongga cetakan (*cavity dies*) dimana logam akan mengisi seluruh ukuran dan bentuk dari cetakan dan menghasilkan produk dengan toleransi dimensional yang baik (presisi).

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah penggunaan material dari bahan baku yang cukup agar rongga cetakan terisi penuh. Ketika cetakan terisi penuh dan menyatu, maka kelebihan logam akan tertekan keluar dari cetakan dan membentuk pita-pita logam diluar cetakan, pita-pita ini disebut sirip (*flash*). Untuk mencegah terbentuknya sirip yang berlebihan maka dibuat penampang sirip (*flash gutter*), yang berfungsi untuk :

- Katup pengaman kelebihan logam pada cetakan.
- Mengatur aliran logam yang keluar.

Macam-macam Proses Penempaan

Penggolongan didasarkan pada proses tempa yang dilaksanakan dapat ditinjau dari berbagai segi macam pengoperasian tempa, yaitu :

1. *Open Die Hammer (Smith Forging)*

Merupakan operasi tempa yang dilakukan oleh pandai besi pada jaman dahulu dan merupakan cara penempaan tertua yang dikenal. Prinsip pembentukan logam pada penempaan *open die hammer* ini adalah dengan pukulan palu yang digerakkan tanpa atau alat mekanis pada benda tempa yang terletak pada landasan terbuka (*open die*). Operasi tempa ini umumnya digunakan untuk

menghasilkan produk yang tidak memerlukan ketelitian ukuran yang tinggi dengan bentuk yang sederhana dalam produksi yang sedikit dan tidak dapat digunakan untuk menghasilkan produk yang kecil, disamping itu untuk menyiapkan benda kerja pada penempaan cetakan tertutup.

2. *Upset Forging*

Operasi tempa ini banyak digunakan untuk menambah diameter dari batang logam pada bagian tengah maupun ujungnya. Pengerjaan ini berlangsung secara cepat serta dapat dilaksanakan pada kondisi panas maupun dingin. Proses ini biasanya dipergunakan dalam pembuatan baut berkepala dan sejenisnya.

3. *Impression Drop Forging*

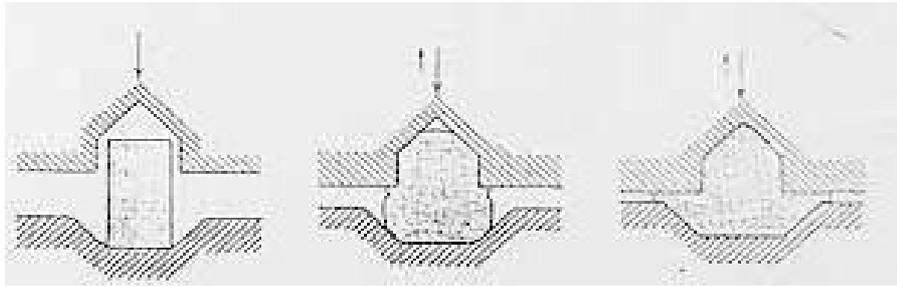
Merupakan operasi tempa yang menggunakan cetakan tertutup dan benda kerja terbentuk akibat gaya impact atau tekanan yang memaksa logam panas yang plastis mengikuti bentuk cetakan. Untuk mengatur aliran logam selama penekanan, operasi tempa ini dilakukan atas beberapa langkah. Setiap langkah dapat merubah bentuk kerja secara bertahap sampai terbentuk produk sesuai dengan desain. Jumlah langkah tergantung pada ukuran dan bentuk produk, kualitas tempa, jenis logam serta toleransi yang dipersyaratkan. Untuk produk dengan ukuran dan bentuk yang rumit diperlukan tahapan penempaan-penempaan pendahuluan. Produk hasil penempaan ini akan mempunyai sirip tipis disekeliling garis pisah, untuk menghilangkannya dengan menggunakan gerida atau pemotongan (*trimming die*) setelah operasi penempaan selesai.

4. *Press Forging*

Pada operasi tempa ini deformasi plastis logam lewat melalui penekanan yang berlangsung lebih lama pada palu (*hammer*) atau alat penekan (*impression drop forging*), sehingga aliran logam lebih merata tidak hanya pada bagian permukaan saja tapi sampai pada bagian tengahnya. Produk yang dihasilkan pada operasi tempa ini memiliki ketelitian yang baik sehingga dapat digunakan untuk penempatan ukuran benda kerja yang dibuat dengan proses lain. Karena waktu sentuh antara cetakan dengan benda kerja labih lama, maka benda tempa akan lebih cepat dingin dan hal ini memungkinkan terjadinya patah dan retak pada benda saat proses berlangsung. Untuk menanggulangnya, maka selama operasi tempa perlu pemanasan kembali pada benda kerjanya.

Deformasi Pada Proses Penempaan

Untuk mendapatkan bentuk tertentu dari suatu benda, maka material dasar atau bahan baku benda harus melalui proses pembentukan menuju produk bentukbaru yang diharapkan sesuai dengan rencana.



Gambar 1. Proses Penempaan

Gambar diatas menunjukkan pergerakan aliran logam sebelum dikenai proses pembentukan dan setelah dikenai proses pembentukan

Bahan padat dapat diubah bentuknya jika mengalami pembebanan dari luar pada saat itu dilakukan penempaan dengan pukulan atau tekanan yang cukup, logam akan mengalami deformasi plastis sehingga berubah bentuknya tanpa mengalami patah dan adanya keretakan pada logam.

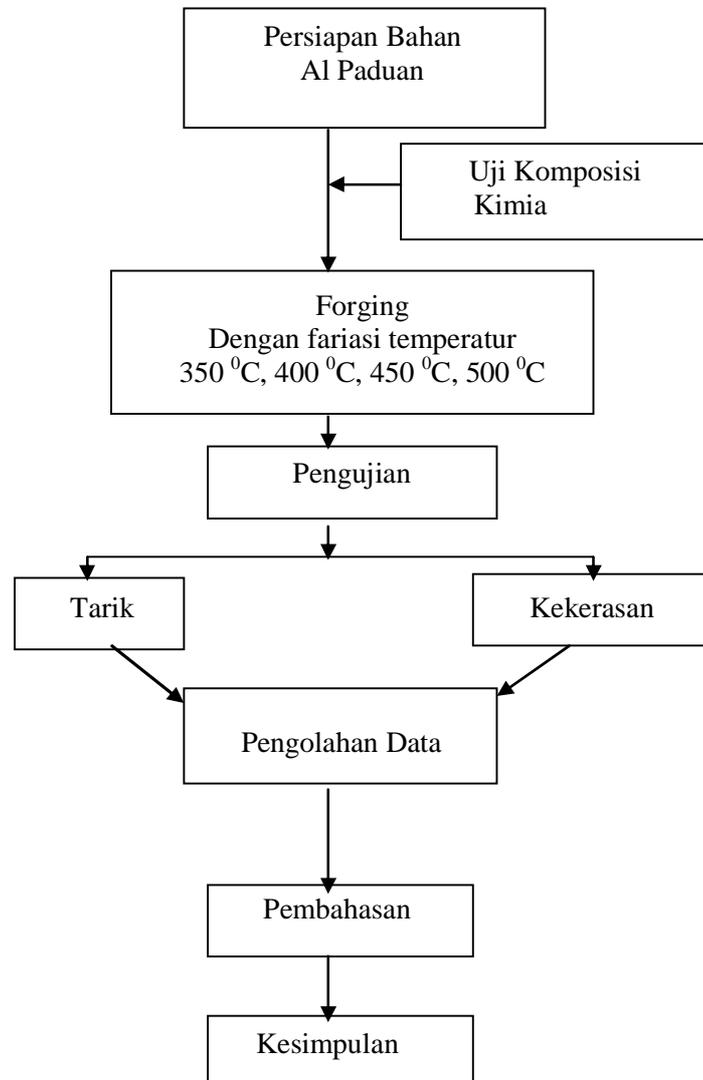
Peralatan-Peralatan Tempa

Ada dua macam mesin tempa press, yaitu mekanis atau *crank press* dan hidrolis. Mesin tempa mekanis adalah peralatan yang tergantung dari panjang langkah tekan serta kemampuan tekan pada berbagai posisi langkah. Panjang langkah tekan mesin tempa mekanis ini lebih pendek daripada mesin tempa hidrolis, sehingga alat ini cocok untuk penekanan dengan profil yang rendah dan tidak terlalu dalam.

Mesin tempa hidrolis merupakan peralatan yang bekerja karena adanya beban penekanan pada sebuah torak atau piston dalam silinder, dan ini memungkinkan daya penekanan maksimum dapat dicapai pada posisi penumbuk sepanjang langkah kerja. Kecepatan penumbuk dapat disesuaikan selama langkah pengerjaan. Peralatan ini merupakan mesin dengan kecepatan relative rendah sehingga waktu sentuh cetakan dengan benda kerja lebih lama dan mengakibatkan suhu benda kerja lebih cepat turun.

METODOLOGI

Diagram Alir Penelitian



Tahapan Penelitian

a. Persiapan Bahan

Bahan Aluminium diperoleh dari proses pengecoran untuk mengubah bentuk bahan dasar menjadi batangan (*billet*).

b. Proses Pengecoran

Pada proses ini ditujukan untuk merubah bentuk bahan dasar menjadi bentuk *billet* (batangan) untuk pembentukan selanjutnya pada proses *forging*. Sebelumnya dilakukan uji komposisi kimia untuk mengetahui unsure-unsur apa saja yang terkandung pada logam hasil proses pengecoran.

c. Proses *Forging*

Ditujukan untuk mengetahui hasil reduksi akibat proses *forging* yang dilakukan dengan variasi temperatur 350°C, 400°C, 450°C, 500°C.

d. Uji kekerasan

Uji kekerasan bertujuan untuk mengetahui berapa kekerasan yang dihasilkan oleh bahan aluminium setelah proses *forging*.

e. Uji Kekuatan Tarik

Uji Tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari bahan piston bekas setelah diproses pembentukan.

f. Pengambilan Data

Pengambilan data diambil sesuai dengan apa yang sudah dilakukan pada penelitian sesuai dengan data apa saja yang diperlukan.

g. Pembahasan

Dalam hal ini meliputi pengolahan data serta membahas hasil-hasil yang telah diperoleh selama melakukan penelitian.

h. Kesimpulan

Setelah data dibahas, maka dapat ditarik kesimpulan fakta apa saja yang terjadi berdasarkan penelitian yang telah dilakukan.

Variable Penelitian

Variable penelitian ini menekankan pada variasi temperatur pemanasan bahan aluminium dengan tujuan agar diketahui karakteristik bahan aluminium paduan, dimana variasi temperturnya adalah : 350°C, 400°C, 450°C, 500°C.

Rancangan Pengujian

Pada proses *forging* ini dilakukan dengan variasi temperatur yang berbeda-beda, untuk diketahui temperature berapa yang menghasilkan sifat mekanis dan toleransi dimensional yang paling baik. Dimana pengujian yang akan dilakukan setelah proses *forging* adalah :

1. Uji kekuatan tarik
2. Uji kekerasan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Uji Komposisi Kimia

Uji komposisi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui unsure-unsur apa saja yang terkandung pada Al Paduan dengan komposisi kimianya sebagai berikut :

Tabel 1. **Komposisi Kimia Paduan Al**

Unsur Kimia	Komposisi Kimia (%)
Silikon (Si)	4,575
Tembaga (Cu)	2,312
Mangan (Mn)	0,300
Besi (Fe)	1,079
Seng (Zn)	0,256
Magnesium (Mg)	0,371
Titanium (Ti)	0,150
Aluminium (Al)	90,957

Tabel 2. **Data Hasil Pengujian Kekerasan Menggunakan Mesin Rockwell**

Temperatur (°C)	No	Beban Mayor (kg)	Beban Minor (kg)	Waktu (Detik)	Jenis Indentor (Bola Baja)	Warna Skala	Harga Kekerasan (HRB)	Rata-rata Kekerasan (HRB)
350	1	100	10	5	1/16"	Merah	49	49.9
	2	100	10	5			45	
	3	100	10	5			47.5	
	4	100	10	5			55	
	5	100	10	5			50	
	6	100	10	5			53	
400	1	100	10	5	1/16"	Merah	41	41.58
	2	100	10	5			47	
	3	100	10	5			31	
	4	100	10	5			40	
	5	100	10	5			45	
	6	100	10	5			45.5	
450	1	100	10	5	1/16"	Merah	35	36
	2	100	10	5			37	
	3	100	10	5			40	
	4	100	10	5			38	
	5	100	10	5			33.5	
	6	100	10	5			33	
500	1	100	10	5	1/16"	Merah	34	31.8
	2	100	10	5			24.5	
	3	100	10	5			30	
	4	100	10	5			29.5	
	5	100	10	5			36	
	6	100	10	5			35	

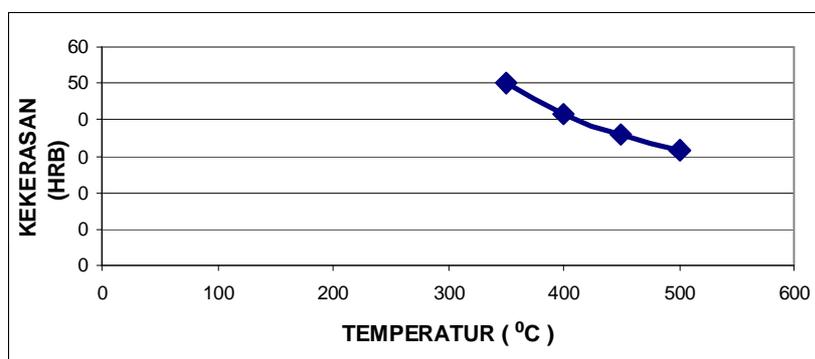
Pengujian dilakukan pada 12 spesimen dimana setiap 3 spesimen mendapatkan perlakuan pemanasan berbeda.

Tabel 3. Data Pengujian Tarik

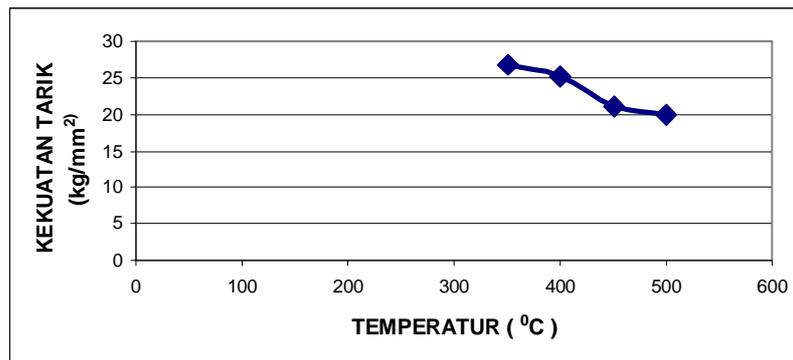
T (°C)	Spesimen	L_i (mm)	L_o (mm)	ΔL (mm)	F_t (kg)	F_t Rata ² (kg)
350	1	57.5	55	2.5	1450	1592
	2	56.5		1.5	1825	
	3	56		2	1500	
400	1	56.95	55	1.95	1412.5	1508
	2	56		1	1512.5	
	3	56.15		1.15	1600	
450	1	56.89	55	1.85	1125	1267
	2	56.35		1.35	1375	
	3	56.5		1.5	1300	
500	1	56.25	55	1.25	1175	1192
	2	56.85		1.85	1162.5	
	3	57		2	1237.5	

Tabel 4. Data Perhitungan Pengujian Tarik

T (°C)	Spesimen	A_o (mm)	σ_t (kg/mm ²)	σ_t (Rata ²)	e (%)	σ_a (kg/mm ²)	σ_a (Rata ²)	ϵ (%)
350	1	60	24.17	26.68	0.045	25.26	27.68	0.044
	2		30.87		0.03	31.79		0.029
	3		25		0.04	26		0.039
400	1	60	23.5	25.12	0.035	24.32	25.74	0.039
	2		25.2		0.02	25.7		0.019
	3		26.67		0.02	27.2		0.019
450	1	60	18.75	21.11	0.03	19.31	21.69	0.029
	2		22.9		0.024	23.45		0.024
	3		21.67		0.03	22.32		0.029
500	1	60	19.58	19.85	0.02	19.97	20.42	0.019
	2		19.35		0.03	19.96		0.029
	3		20.6		0.036	21.34		0.035



Gambar 2. Hubungan Kekerasan Dengan Temperatur



Gambar 3. Hubungan Kekuatan Tarik dengan Temperatur

Pada proses pembantukan aluminium paduan khususnya dengan proses *forging*, karakteristik yang terjadi mengikuti perlakuan yang diberikan pada setiap spesimen. Perlakuan yang diberikan pada setiap spesimen adalah variasi temperature yang diberikan pada tiap-tiap spesimen pada saat dilakukan proses *Forging*, dimana temperature yang diberikan adalah : 350°C, 400°C, 450°C, dan 500°C.

Ø Kekerasan

Data yang didapat dari pengujian kekerasan terjadi perbedaan harga kekerasan antara specimen yang satu dengan yang lain. Dimana pada specimen yang telah dilakukan proses *forging* nilai kekerasannya cenderung menurun seiring dengan peningkatan temperature yang diberikan pada tiap-tiap specimen. (49.9 HRB, 41.58 HRB, 36 HRB, 31.8 HRB).

Hal ini disebabkan karena proses yang dilakukan adalah pengerjaan panas yaitu pengerjaannya diatas temperature rekristalisasi jadi pada saat logam terdeformasi (dalam keadaan panas) susunan atom dalam kristal terganggu dan mengalami pergeseran-pergeseran, karena pada saat dilakukan deformasi diberikan temperature yang bervariasi yaitu dari 350°C sampai 500°C maka dengan semakin tinggi temperature yang diberikan pada saat proses *forging*, semakin mempermudah pergerakan dislokasi pada logam yang dapat menurunkan kekerasan logam, sehingga kekerasan yang dihasilkan juga akan cenderung semakin menurun.

Jadi semakin tinggi temperature pada saat proses *forging* maka nilai kekerasannya juga akan cenderung semakin rendah (menurun).

Ø Kekuatan Tarik

Berdasarkan data yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai kekuatan tarik yang dihasilkan dari tiap-tiap specimen berbeda-beda. Pada specimen dengan temperature pada saat proses *forging* sebesar 350°C didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 26,68 kg/mm², pada temperatur 400°C didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 25,12 kg/mm², pada temperatur 450°C didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 21,11 kg/mm², pada temperatur 500°C didapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 19,85 kg/mm²

Hal ini disebabkan karena adanya *efek thermal* dari proses *forging* yang dilakukan dengan temperatur yang bervariasi. Dengan adanya *efek thermal* tersebut akan menyebabkan dislokasi yang akan mempermudah terjadinya slip. Deformasi (perubahan bentuk) dapat terjadi dengan terjadinya slip, dimana mudah atau tidaknya logam terdeformasi tergantung pada mudah atau tidaknya dislokasi bergerak. Oleh karena itu adanya dislokasi tersebut akan menurunkan kekuatan tarik logam. Semakin tinggi *efek thermal* yang diberikan maka akan mempermudah pergerakan dislokasi yang dapat menyebabkan turunnya kekuatan tarik logam.

SIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap aluminium paduan pada proses *forging* dengan variasi temperatur yang berbeda maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi temperature pada proses *forging* mempengaruhi nilai kekerasan aluminium paduan, semakin tinggi temperature pada proses *forging* (350°C, 400°C, 450°C, 500°C maka nilai kekerasan yang dihasilkan akan cenderung menurun (49.9 HRB, 41.58 HRB, 36 HRB, 31.8 HRB)
2. Variasi temperatur pada proses *forging* mempengaruhi nilai kekuatan tarik pada aluminium paduan, semakin tinggi temperatur pada proses *forging* (350°C, 400°C, 450°C, 500°C maka nilai kekuatan tarik yang dihasilkan akan cenderung menurun. (26,68 kg/mm², 25,12 kg/mm², 21,11 kg/mm², 19,85 kg/mm²)

DAFTAR PUSTAKA

- Avitzur Betzajel, 1997, *Metal Forming Processing and Analysis*, THM Edition, Tata Mc Graw Hill Publishing Ltd. New Delhi.
- Artikel, D.A. Hughles, H.E. Kassen, H.G. Stuot, and J.S. Vetrano, *Metal Forming at the Center of Excellence for the Synthesis and Processing of Advanced Materials*, the U.S Departement of Energy, Office of Basic Energy Sciences.
- Avner, 1969, *Introduction to Physical Metalurgi*, New York. Mc Graw Hill.
- Artikel, *Forging*, The Aluminium Association Inc, 2003
- Artikel, Jean-Francois Wadier William Loue, Jean Charbonnier, *Pechiney Aluminium*, CRV BP 27, 38340 Voreppe France
- Artikel Robert H. Tood, Dell K. Allen, and Leo *Alting Manufacturing Processes Reference Guide* 1st ed. Published by Industrial Press Inc., 1994
- Dieter, E.George, 1996, *Metalurgi Mekanik*, edisi ketiga, penerbit Airlangga.
- J.R. Davis, 1990, *ASM Speciality Hand Book*.
- <http://afrijujarwanto.blog.telkomspeedy.com/2007/09/29/Metal-Forming-Process/>
- R.E. Smallman, *Metalurgi Fisik Modern*, Edisi Keempat. PT Gramedia, Jakarta
- Siswo Suwarno, M., *Teknik Pembentukan Logam*, ITB
- Surdia, T. 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Pradnya Paramita. Jakarta.