

# PENGARUH $\alpha$ -CASE DAN ANGKA KEKERASAN (SIFAT MEKANIK) TERHADAP LAJU PERUBAHAN ELONGASI (DEFORMASI) MATERIAL Ti6AL4V HASIL PROSES SUPERPLASTIS FORMING

Oleh :

**Armila**

Jurusan Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat

---

## Abstract

*Superplastic materials may be stretched in tension to elongations typically in excess of 200% and more commonly in the range of 400–2000%. There are rare reports of higher tensile elongations reaching as much as 8000%. The high ductility is obtained only for superplastic materials and requires both the temperature and rate of deformation (strain rate) to be within a limited range. The temperature and strain rate required depend on the specific material. A variety of forming processes can be used to shape these materials; most of the processes involve the use of gas pressure to induce the deformation under isothermal conditions at the suitable elevated temperature. The tools and dies used, as well as the superplastic material, are usually heated to the forming temperature. There are a number of commercial applications of super-plastic forming for aerospace, Examples are wing access panels in the Airbus A310 and A320, bathroom sinks in the Boeing 737, turbo-fan-engine cooling-duct components, external window frames in the space shuttle, front covers of slot machines.*

**Keyword:** Superplastic, material Ti6AL4V and deformation.

---

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin hari makin meningkat dengan pesat dewasa ini, kompleksitas komponen atau produk khususnya pada struktur pesawat terbang, perlu dicari suatu metoda pembuatan yang maju untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Untuk produk yang kompleks ini, jika dilakukan dengan dengan cara konvensional baik permesinan maupun pembentukan diperlukan beberapa tahapan pengerjaan dan banyak material yang terbuang, sehingga dicarilah proses yang dapat membuat produk yang kompleks dalam satu tahapan proses untuk menghemat biaya dan bahan. Superplastis forming merupakan salah satu alternatif yang mampu menjawab permasalahan tersebut diatas khususnya untuk “sheet metal material“. Superplastis adalah suatu proses pembentukan logam yang mampu menghasilkan produk dengan deformasi plastis yang sangat besar (500-1300%).

Faktor-faktor yang berpengaruh pada deformasi superplastis dengan kondisi terbaik merupakan pokok permasalahan yang perlu dikaji dan diteliti, khususnya pada komponen pesawat terbang yang memakai paduan Ti6AL4V yang memiliki kekuatan yang tinggi, ringan, tahan terhadap temperatur tinggi dan mempunyai ketahanan korosi yang tinggi.

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap deformasi superplastis ialah besar butir harus kecil dari ( $<10\mu\text{m}$ ), stabil dan equiakial (faktor material) temperatur deformasi yang tinggi  $> 0,5 T_c$  dan laju regangan yang lambat berkisar  $10^{-5}/\text{s}$  (faktor proses). Superplastis adalah sebuah fenomena yaitu material dapat mencapai perpanjangan (elongasi) yang sangat besar (ratusan bahkan bisa sampai ribuan persen) karena material tersebut mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap necking ( pengecilan penampang setempat) ketahanan terhadap necking ini dimungkinkan karena material superplastis mempunyai harga  $m$  (kepekaan laju

regangan) yang tinggi, selain itu hal ini tercapai untuk kondisi proses tertentu yaitu proses berlangsung pada temperatur tinggi dan laju regangan yang rendah.

Persamaan tegangan alir pada suhu tinggi dinyatakan dalam tegangan alir yang merupakan fungsi dari laju regangan dan temperatur. Bila suhu pada spesimen dapat dianggap seragam maka laju regangan sajalah yang akan berpengaruh pada tegangan alir, seperti dinyatakan pada persamaan berikut ini :

$$\sigma_0 = C \dot{\epsilon}^m \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- $\sigma_0$  = Tegangan Alir
- m = kepekaan Laju Regangan
- $\dot{\epsilon}$  = Laju Regangan
- c = konstanta

nilai c dan m tergantung pada temperatur, kecepatan mekanisme mengontrol deformasi dan struktur mikro material. Harga m yang tinggi hanya dapat dicapai jika ukuran butirnya sangat kecil (<10 $\mu$ m).  $\sigma_0 = C\dot{\epsilon}^m$ , dimana  $0 < m < 1$ . Pada kasus ekstrim adalah pada gelas panas m = 1 yang dapat ditarik dalam keadaan cair menjadi serat-serat gelas tanpa terjadi penyempitan setempat. Perhatikan sebuah batang superplastis dengan luas penampang A dan diberi beban gaya sumbu pada P.

$$P/A = \sigma = C \dot{\epsilon}^m$$

$$\text{atau } \dot{\epsilon} = (P/A)^{1/m} (1/C)^{1/m} \dots\dots\dots (2)$$

Dari definisi laju regangan sebenarnya diperoleh,

$$\dot{\epsilon} = 1/l \cdot dl/dt = 1/A \cdot dA/dt \dots\dots (3)$$

dengan mengabungkan persamaan (2) dan (3) diperoleh,

$$-dA/dt = A \cdot \dot{\epsilon} = A^{1-1/m} (P/C)$$

$$dA/dt = (P/C)^{1/m} \left( \frac{1}{A^{(1-m/m)}} \right) \dots\dots\dots (4)$$

## MATERIAL SUPERPLASTIS

Sifat utama dari material superplastis adalah kepekaan laju regangan yang tinggi ( $m \geq 0.3$ ), yang memberikan ketahanan yang tinggi terhadap pertumbuhan *necking* sehingga perpanjangan yang bisa didapat sangat tinggi ( $e > 500\%$ ) tanpa putus. Agar didapat m yang tinggi, maka persyaratan bahan harus mempunyai besar butir yang halus, dimana besar besar butir ( $d \leq 10\mu$ m) equiakial atau bulat dan stabil pada temperatur deformasi yang tinggi.

Material harus berbutir halus, karena pada superplastis pada temperatur tinggi mekanisme deformasi yang utama adalah "Grain Boundry Sliding" (pergeseran besar butir), sehingga dengan butir yang halus maka bidang sliding semakin luas, akibatnya makin mudah terjadi sliding. Dengan bentuk butir bulat (equiakial), batas butir bersudut besar akan mempermudah sliding/pergeseran. Selain itu batas butir harus mudah bergerak agar tidak terjadi konsentrasi tegangan lokal. Pada deformasi superplastis butir tetap berbentuk equiakial setelah mengalami deformasi besar, suatu bukti bahwa terjadi migrasi batas butir.

Parameter Utama Superplastis,

1. Parameter dari segi bahan/material
2. Parameter dari segi proses, yang meliputi temperatur dan laju regangan

## BATASAN MASALAH

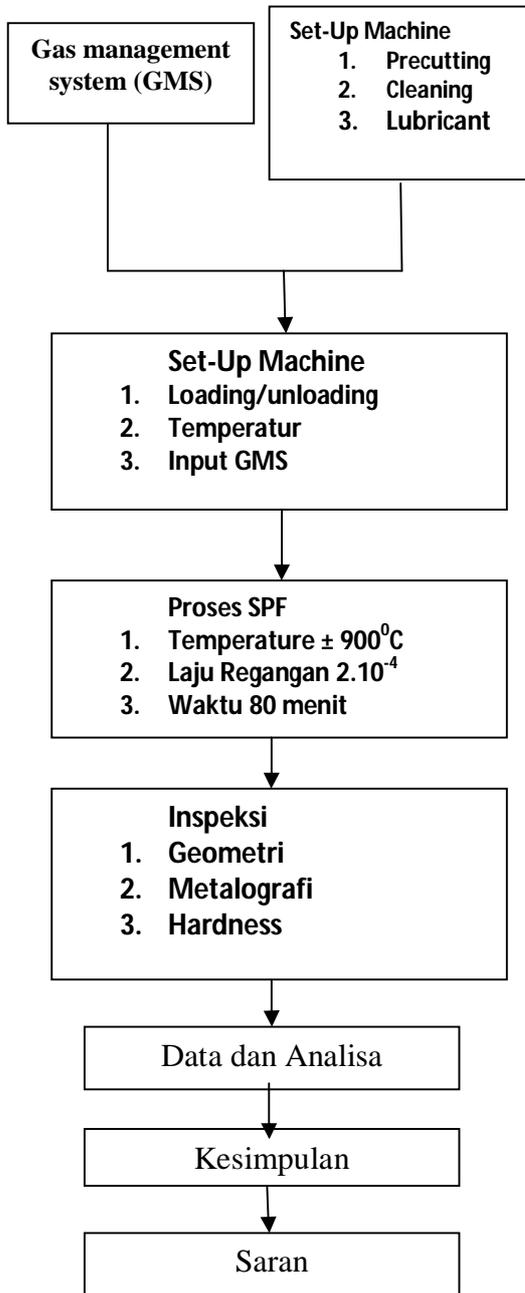
Mengukur tebal lapisan  $\alpha$ -case dan angka kekerasan serta pengaruhnya terhadap elongasi (regangan).

## TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh tebal lapisan  $\alpha$ -case yang terbentuk dan angka kekerasan terhadap

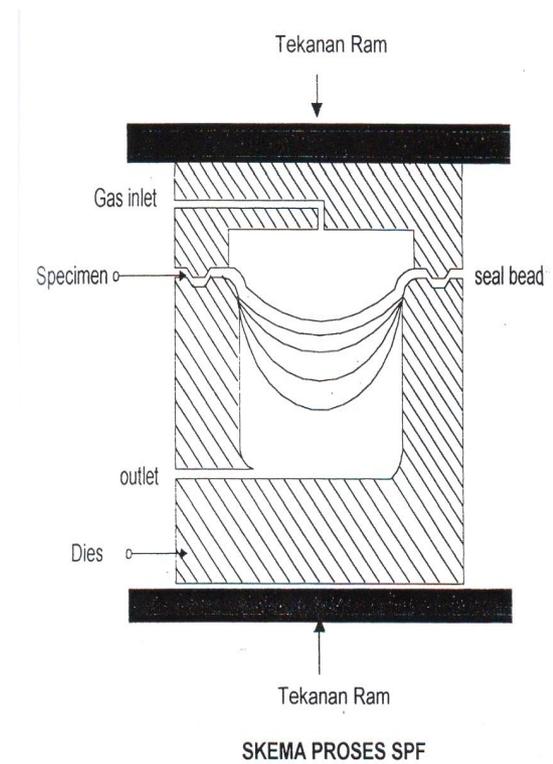
perubahan laju regangan hasil proses superplastis forming.

**PROSEDUR PROSES SPF**



Gambar 1. Prosedur Proses SPF

**Skema Proses SPF**

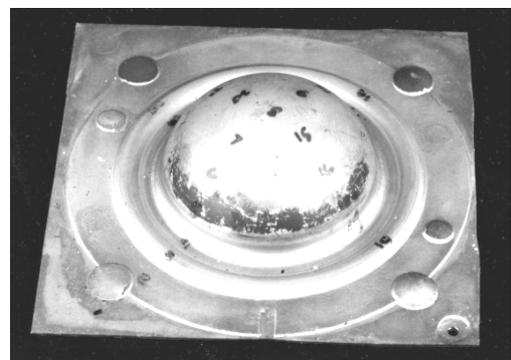


Gambar 2. Skema proses SPF

**DATA**

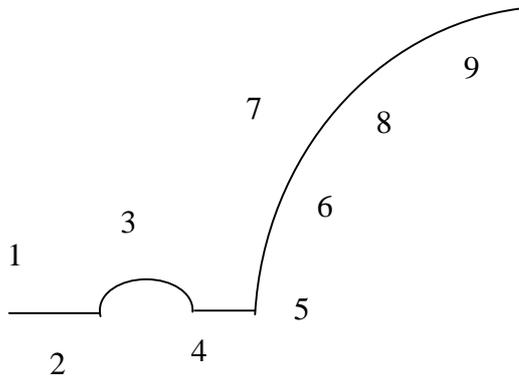
*Data Material*

Material = Ti6AL4V ukuran 15 cm x 15 cm x 1,6 mm  
 Radius = 37,877 mm  
 Tinggi = 41,26 mm



Gambar 3. Foto spesimen hasil SPF

**Gambar Penempatan Posisi pengukuran Tebal  $\alpha$ -case dan kekerasan.**

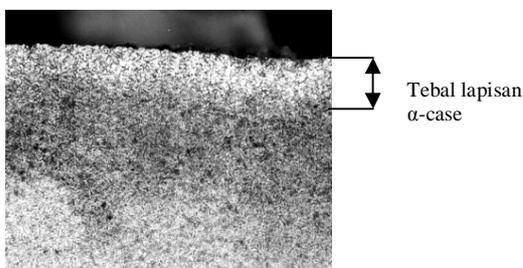


Gambar 4. Penempatan Posisi pengukuran  $\alpha$ -case dan kekerasan.

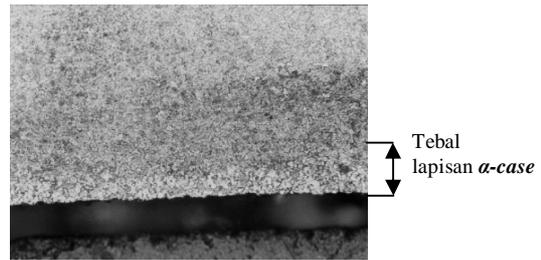
**Terbentuknya Lapisan  $\alpha$ -case**

$\alpha$ -case adalah lapisan yang terbentuk akibat proses pemanasan saat penahanan. Dimana titanium merupakan logam yang bersifat sensitif terhadap unsur C, H, O, N khususnya pada temperatur tinggi. Kenaikan temperatur semakin memudahkan atom-atom tersebut untuk larut padat secara intertisi kedalam titanium. Pada saat proses SPF berlangsung  $\alpha$ -case tidak bertambah karena terlindungi oleh gas Argon. Terjadinya penipisan (deformasi) benda kerja selama proses SPF menyebabkan tebal lapisan  $\alpha$ -case yang terbentuk saat penahanan akan ikut menipis, dimana bagian permukaan atas akan lebih tipis dibanding bagian bawah (dalam). Lapisan  $\alpha$ -case yang terbentuk sebenarnya tidak diinginkan karena bersifat keras dan getas.

**Foto strukturmikro lapisan  $\alpha$ -case**

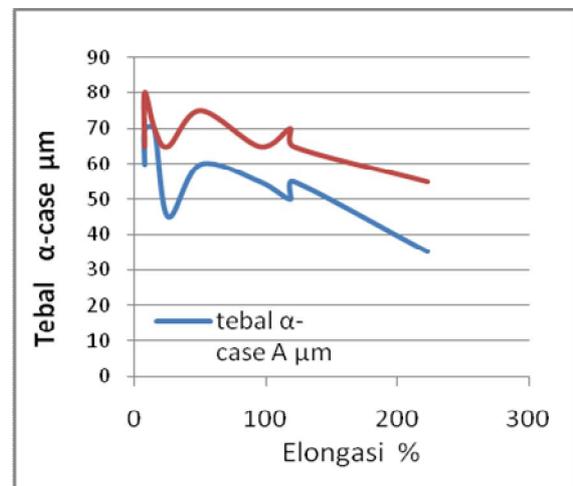


Gambar 5. Foto struktur mikro  $\alpha$ -case bagian atas (A).



Gambar 6. Foto struktur mikro  $\alpha$ -case bagian bawah dalam (B).

**Kurva Hubungan tebal  $\alpha$ -case dan regangan (elongasi).**

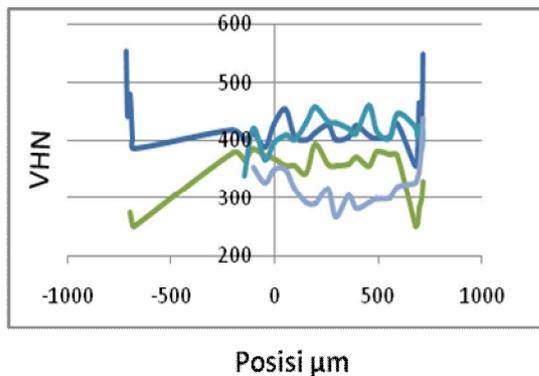


Gambar 7. Kurva hubungan ketebalan  $\alpha$ -case terhadap besarnya deformasi.

**Pengukuran Kekerasan**

Pengukuran kekerasan dilakukan dengan menggunakan metoda *mikro Vickers*. Tiap posisi diukur kekerasannya dalam satuan micron meter dengan jarak setiap 10 mikron dan beban sebesar 100 gram.

### Kurva kekerasan dengan keseluruhan deformasi.



Gambar 8. Kurva hubungan kekerasan terhadap besarnya deformasi.

## PEMBAHASAN

### Pengaruh perubahan nilai regangan (deformasi).

Elongasi dapat dicapai pada proses superplastis adalah sangat tinggi, bahkan bisa lebih dari 500%. Secara makro hal ini dapat diartikan bahwa superplastis adalah deformasi yang berhasil menunda terjadinya pengecilan penampang setempat (*necking*). Dari persamaan  $1 - \epsilon_0 = C \dot{\epsilon}^m$ , nilai  $m$  yang besar menunjukkan bahwa kenaikan laju regangan secara cepat akan menaikkan tegangan alir material. Secara praktis mempunyai arti sebagai berikut: bila suatu material specimen uji tarik ada bagian yang mengecil setempat (*necking*), maka bagian tersebut mengalami laju regangan yang lebih tinggi, pada material yang memiliki regangan yang tinggi, maka pada bagian tersebut tegangan alir akan naik, artinya deformasi setempat tidak akan berlanjut ditempat itu melainkan ditempat lain. Demikian seterusnya sehingga pengecilan setempat akan sulit terjadi, dengan demikian regangan yang terjadi akan sangat besar. Deformasi plastis diasumsikan pada kondisi volume konstan, sehingga hubungan antara regangan-regangan utama dapat

dinyatakan  $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0$  artinya bila dua komponen regangan bertanda positif maka komponen ketiga pastilah negatif, hal inilah yang melambangkan penipisan.

Masalah yang sering muncul adalah penipisan yang terjadi tidak seragam, hal ini tergantung kepada beberapa faktor, yaitu geometri cetakan yang berkaitan dengan perubahan bentuk benda kerja selama proses SPF. Perubahan deformasi atau laju regangan yang terjadi sangat dipengaruhi oleh kondisi tegangan yang bekerja. Usaha untuk memprediksi penipisan didasarkan pada persamaan konstitutif  $S = K \epsilon^n \dot{\epsilon}^m$  angka  $m$  yang kecil akan mengakibatkan penipisan yang bervariasi, daerah yang tipis akan menghasilkan deformasi yang lebih besar. Elongasi dapat dihitung dengan rumus,

$$e = (t_0 - t_1) / t_0 \times 100 \% = \delta t / t_0 \times 100 \%$$

Pada penelitian ini tebal material awal 1,68 mm, misal diambil pada ketebalan 1,56 mm maka besarnya elongasi adalah  $(1,68 - 1,56) / 1,68 \times 100 \% = 7,6\%$  (kondisi tekanan ram), sedangkan harga elongasi pada kondisi tekanan gas (superplastis) adalah 1,34 mm adalah  $(1,68 - 1,34) / 1,68 \times 100 \% = 25,3 \%$  dan elongasi yang paling besar terjadi pada tebal 0,52 mm harga regangannya adalah  $(1,68 - 0,52) / 1,68 \times 100 \% = 223\%$ .

### Pengaruh tebal Lapisan $\alpha$ -case

Pada saat proses SPF lapisan  $\alpha$ -case tidak bertambah karena terlindung oleh gas argon. Terjadinya penipisan (deformasi) benda kerja selama proses SPF, menyebabkan  $\alpha$ -case yang terbentuk ikut menipis. Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan ketebalan  $\alpha$ -case sangat bervariasi paling tebal adalah  $70 \mu\text{m}$  dengan elongasi 7,6% (kondisi tekanan ram) sedangkan kondisi tekanan gas, tebal  $\alpha$ -case adalah  $45 \mu\text{m}$  dengan elongasi 25,3 % dan tebal  $35 \mu\text{m}$  elongasi 223%, ini berarti  $\alpha$ -case ikut terdeformasi sehingga

lapisan yang terbentuk semakin tipis (kurva hubungan  $\alpha$ -case dan elongasi). Jadi semakin tipis lapisan  $\alpha$ -case maka elongasi (regangan) semakin tinggi.

### **Pengaruh perubahan nilai kekerasan**

Deformasi yang terjadi pada proses SPF bisa mencapai lebih dari 500% dapat diartikan secara makro bahwa superplastis adalah suatu mekanisme deformasi yang mampu menunda terjadinya pengecilan penampang setempat (*necking*). Dari persamaan (1) dapat disimpulkan bahwa nilai  $m$  yang besar menunjukkan bahwa kenaikan laju deformasi (regangan) secara cepat menaikkan tegangan alir material. Secara praktis hal ini mempunyai arti adalah sebagai berikut: bila suatu material specimen uji tarik ada bagian mengecil setempat (*necking*), maka bagian tersebut akan mengalami laju regangan yang tinggi. Pada material yang memiliki regangan yang tinggi pada bagian tersebut maka tegangan alir akan naik, artinya deformasi setempat tidak akan berlanjut ditempat itu melainkan ditempat lain, semikian seterusnya sehingga pengecilan setempat akan sulit terjadi, dengan demikian deformasi yang terjadi akan sangat besar. Dari hasil pengukuran kekerasan mikro produk SPF dengan deformasi bervariasi didapat harga kekerasan yang bervariasi tergantung besarnya deformasi. Pada deformasi 25,3 % harga kekerasan adalah 393 VHN dan penambahan deformasi sampai 50% terjadi peningkatan kekerasan yaitu 506 VHN dan selanjutnya deformasi diatas 50 % terjadi pengurangan kekerasannya.

Salah satu data pada deformasi 7,6 % ketebalan  $\alpha$ -case 70  $\mu\text{m}$  harga kekerasan 599,5 VHN dan pada deformasi 223% tebal  $\alpha$ -case 35 $\mu\text{m}$  dimana harga kekerasannya 437 VHN dari data ini dapat disimpulkan semakin tipis lapisan  $\alpha$ -case maka harga kekerasan semakin turun.

Kenaikan kekerasan karena adanya fenomena *stain hardening* dan penurunan harga kekerasan karena fenomena *strain softening* atau biasa disebut pelunakan regangan.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

1. Pengaruh  $\alpha$ -case terhadap regangan sangat merugikan, dimana berdasarkan data diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tebal  $\alpha$ -case yang terbentuk maka harga elongasi (regangan) semakin turun, begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan lapisan  $\alpha$ -case bersifat keras dan getas.
2. Peningkatan harga kekerasan dibandingkan dengan laju deformasi akan bertambah sampai deformasi 50% karena sampai deformasi 50% pengaruh strain hardening masih sangat dominan sehingga pengeras regangan sifat material masih dapat dilanjutkan. Akan tetapi deformasi melebihi 50% pengaruh stain hardening bisa dikatakan hilang karena *strain softening* lebih dominan, seiring dengan naiknya tekanan gas, temperatur proses dan pengurangan penampang material.
3. Berdasarkan pengukuran semakin tipis lapisan  $\alpha$ -case maka harga kekerasan semakin turun.

### **Saran**

1. Batasan deformasi untuk SPF perlu dikaji lebih lanjut, dan SPF tidak terbatas untuk struktur pesawat terbang tapi dapat dipakai pada keperluan lain.
2.  $\alpha$ -case yang terbentuk dalam rangkaian proses SPF harus dihilangkan.
3. Penelitian ini sebaiknya dilanjutkan karena mekanisme SPF tidak hanya Grain Boundary Sliding. Nilai kekerasan material ini juga berpengaruh terhadap terbentuknya  $\alpha$ -case dan ini perlu dilengkapi dengan pengujian keras mikro Vickers. Edisi mendatang akan dibahas bagaimana pengaruh kekuatan material terhadap deformasi dengan terbentuknya

$\alpha$ -case jika ditinjau dari struktur mikro butir dan struktur mikro  $\alpha$ -case.

Smallman, RE. Metalurgi Fisik Modern” edisi ke empat Gramedia, Jakarta 1991.

## DAFTAR PUSTAKA

### [1] Seminar

Cheschini, L & Afrinakov, A., “Superplastic Forming (SPF) of Material and Combined with Diffusion Bonding: Tecnological and Design Aspect “, Metalurgy Science and Tecnology vol 10 (3) (1992).

International Conference on Superplasticity – Grenoble September 16-19, 1985, edition du C.M.R.S. Paris 1985.

Jain, M., “Strain Rate Sensitivity effect with Forming Characteristic of Superplastic Ti6AL4V, Material Science and Engineering, A 138 (1991).

### [2] Laporan Penelitian

Wirawan, B., Ardianto, DS, Sulystiowati, D. “perubahan harga kekerasan dan cacat Kaviatasi pada produk pembentukan Superplastis Material Ti6AL4V”. Reseach note RN A2321, ARD-PT.IPTN/1998.

### [3] Buku Terjemahan

ASM, “Titanium and Alloys, Source book”, Ohio 1982.

Arsenault, R.J. “Plastic Deformation of Metal” vol 6, Academic Press , New York, 1976.

ASM, “Metal Handbook” Vol. 1 8<sup>th</sup> Edition, 1974.

Dieter, G. E., “ Mechanical Metalurgy” 3<sup>rd</sup> Edition, New York, 1986.

Langdon, TG “The Physic of Superplastic Deformation” Material Science and Engineering, A 137 (1991).

Honey Combe, R.W.K., The Plastic Deformation of Metal”, Edward Arnold, London, 1971.