

**LAPORAN PENELITIAN  
BERORIENTASI PRODUK**



**PENGEMBANGAN MODEL PERANCANGAN PROSES  
FORGING DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM  
ANSYS UNTUK MENCEGAH KEGAGALAN PRODUK**

Oleh

**MURJITO, ST. MT  
NIP-UMM: 108.9404.0313**

Dibiayai dari anggaran Dana Pembinaan Pendidikan (DPP)  
Universitas Muhammadiyah Malang Berdasarkan SK Pembantu Rektor I  
Nomor : .....

**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG  
JULI 2007**

## LEMBAR IDENTITAS DAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : **Pengembangan Model Perancangan Proses Forging dengan Menggunakan Program ANSYS untuk mencegah kegagalan produk**
2. Ketua Peneliti :
- a. Nama Lengkap : Murjito, ST. MT
  - b. Jabatan setruktural : Dosen
  - c. Jurusan/Fakultas : Teknik Mesin/ Fakultas Teknik
  - d. Perguruan Tinggi : Universitas Muhmmadiyah Malang
  - e. Alamat Surat : JL. Kapi Anala V/15M-15 Malang
  - f. Telpon/Faks : (0341) 710440
  - g. E-mail : [murjito@umm.ac.id](mailto:murjito@umm.ac.id)
3. Masa Pelaksanaan : 2 tahun
- Mulai : Pebruari 2007
  - Berakhir : Mei 2007
4. Usulan Biaya
- Tahap I : Rp. 2.800.000,-
5. Lokasi Penelitian : Laboratorium Produksi dan Perancangan FT UMM
6. Instansi lain yang terlibat:

**Malang, 7 Januari 2007**

**Mengetahui ,**

**An.Dekan Fakultas Teknik**

**Pembantu Dekan I**

**Ir. Sudarman, MT.**

**Ketua Peneliti**

**Murjito, ST.MT**

**Ketua Lembaga Penelitian  
Universitas Muhammadiyah Malang**

**Dr. Wahyu Widodo, MKes**

**NIP-UMM : 110.8909.0128**

**DAFTAR ISI**

## ABSTRAK

Proses tempa (forging) merupakan salah satu proses pengerjaan material yang dilakukan dengan cara mengubah bentuk benda kerja dengan cara memberikan gaya dari luar (external Force) melalui satu atau beberapa cetakan (dies/tool) sampai terjadi deformasi plastis. Gaya pembentukan yang akan mengubah bentuk benda kerja secara permanen. Dengan adanya gaya dari luar akan terjadi aliran logam dengan membentuk mengikuti bentuk tool/dies sebagai shape candidate.

Dalam prosesnya ada dua hal yang saling terkait agar mencapai efisiensi proses dan kualitas produk yang tinggi yaitu mendesain proses produksi dan merancang cetakan. Proses produksi memperhatikan geometri dan kondisi internal produk (sebagai contoh adalah aliran logam (metal flow)) sedangkan disain cetakan disamping tergantung akan hal tersebut diatas juga menjawab bagaimana agar cetakan dapat bertahan lama.

Perancangan cetakan dan tahapan produksi merupakan tahap awal terpenting dalam proses pembentukan benda kerja dengan tempa (forging). Banyak faktor yang berpengaruh dalam perancangan proses forging yang harus diperhatikan agar diperoleh hasil yang optimal. Berdasarkan penelitian sebelumnya diperoleh empat variable utama yang berperan dalam proses pembentukan tempa yaitu temperature, tekanan, kecepatan pemukulan dan pelumasan yang diberikan. Empat variable utama ini memberi kontribusi yang besar terhadap tingkat kerusakan (failure), keausan (wearing) atau cacat (defect) lainnya pada proses forging.

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh dari variable-variabel diatas terhadap proses forging, dan variabel tersebut merupakan input yang digunakan untuk memformulasikan tingkat kerusakan (failure), keausan (wearing) atau cacat (defect) lainnya pada proses forging, melalui suatu simulasi dengan program ANSYS, dari program inilah nantinya akan diketahui perilakunya, sehingga dapat diamati dan dievaluasi untuk memperoleh hasil yang optimal.

## **DAFTAR ISI**

**RINGKASAN DAN SUMMARY**

**PRAKATA**

**DAFTAR ISI**

**DAFTAR TABEL**

**DAFTAR GAMBAR**

**DAFTAR LAMPITAN**

**BAB I. PENDAHULUAN**

**BAB II. STUDI PUSTAKA**

**BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

**BAB IV. METODE PENELITIAN**

**BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Proses tempa (*forging*) merupakan salah satu proses pengerjaan material yang dilakukan dengan cara mengubah bentuk benda kerja dengan cara memberikan gaya dari luar (*external Force*) melalui satu atau beberapa cetakan (*dies/tool*) sampai terjadi deformasi plastis. Gaya pembentukan yang akan mengubah bentuk benda kerja secara permanent. Dengan adanya gaya dari luar akan terjadi aliran logam dengan membentuk mengikuti bentuk tool/dies sebagai shape candidate.

Dalam prosesnya ada dua hal yang saling terkait agar mencapai efisiensi proses dan kualitas produk yang tinggi yaitu mendesain proses produksi dan merancang cetakan. Proses produksi memperhatikan geometri dan kondisi internal produk (sebagai contoh adalah aliran logam (*metal flow*)) sedangkan disain cetakan disamping tergantung akan hal tersebut diatas juga menjawab bagaimana agar cetakan dapat bertahan lama.

Umur cetakan akan dibatasi oleh penggunaan saat menghasilkan cacat produk. Cacat ini dapat disebabkan karena pada cetakan terdapat retak, pecah ataupun efek keausan yang merupakan kerusakan nyata yang sulit diprediksi dan diamati secara langsung kapan dan dimana akan terjadi, apalagi kondisi kerja dalam keadaan panas (*hot forging*) dengan kecepatan yang tinggi. Sedangkan pemahaman akan umur cetakan merupakan bagian penting dalam merencanakan proses produksi selanjutnya. Variable penting yang berperan dalam proses produksinya adalah temperature benda kerja (*billet*), tekanan yang dibutuhkan, serta kecepatan pemukulan yang menghasilkan aliran material didalam cetakan.

Perancangan cetakan dan tahapan produksi merupakan tahap awal terpenting dalam proses pembentukan benda kerja dengan tempa (*forging*). Banyak factor yang berpengaruh dalam perancangan cetakan yang harus diperhatikan agar diperoleh hasil yang optimal. Berdasarkan studi jurnal-jurnal sebelumnya diperoleh empat variable utama yang berperan dalam proses pembentukan tempa yaitu temperature, tekanan, kecepatan pemukulan dan pelumasan yang diberikan. Empat variable utama ini memberi kontribusi yang besar terhadap tingkat kerusakan (*failure*), keausan (*wearing*) atau cacat (*defect*) lainnya pada proses forging. .

## 1.2. Tujuan khusus Penelitian

Tujuan khusus yang ingin dicapai oleh peneliti adalah:

- Tahun I : Untuk mendapatkan formula proses forging dengan pertimbangan karakteristik dari material, size dan geometri untuk mencapai presisi, akurasi yang tinggi dan urutan proses forging.
- Tahun II : Untuk mengetahui besarnya kontribusi variable-variabel utama yaitu temperature, tekanan, kecepatan pemukulan dan pelumasan terhadap tingkat kerusakan (*failure*), keausan (*wearing*) atau cacat (*defect*) lainnya pada perancangan cetakan pada proses tempa (forging)

## 1.3. Urgensi Penelitian

Perancangan proses produksi dan cetakan merupakan tahap awal terpenting dalam proses pembentukan benda kerja dengan tempa (*forging*). Banyak factor yang berpengaruh dalam perancangan cetakan yang harus diperhatikan agar diperoleh hasil yang optimal. Berdasarkan studi jurnal-jurnal diperoleh empat variable utama yang berperan dalam proses pembentukan tempa yaitu temperature, tekanan, kecepatan pemukulan dan pelumasan yang diberikan. Empat variable utama ini memberi kontribusi yang besar terhadap tingkat kerusakan (*failure*), keausan (*wearing*) atau cacat (*defect*) lainnya pada proses forging.

Besarnya kontribusi variable-variabel diatas merupakan input yang digunakan untuk memformulasikan tingkat kerusakan (*failure*), keausan (*wearing*) atau cacat (*defect*) lainnya pada proses forging, malalui suatu simulasi dengan program ANSYS, dari program inilah nantinya akan diketahui perilakunya, sehingga dapat diamati dan dievaluasi untuk memperoleh hasil yang optimal.

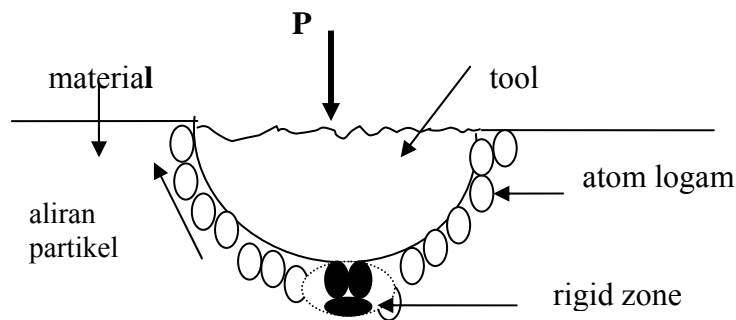
Berdasarkan hipotesa baik secara fisik atau kajian pustaka dalam penelitian ini diusulkan suatu metode untuk menyelesaikan problema failure pada perancangan cetakan dan tahapan produksi pada proses pembentukan benda kerja dengan tempa (*forging*). Sehingga tidak terjadi kegagalan pada proses tempa (*forging*), karena kegagalan disamping membuang biaya yang cukup besar juga memakan waktu perencanaan produksi yang dapat mengganggu jadwal (*time schedule*)

## **BAB II: STUDI PUSTAKA**

Pada proses pembentukan logam secara makro dapat dijelaskan dengan adanya pembebanan yang melebihi batas luluh material akan terjadi deformasi plastis. Dan didalam analisa secara mikro deformasi ini terjadi karena adanya gerakan atom pada logam (*slip*).

Pada daerah deformasi ini akan mengalami tegangan yang paling besar (*tegangan maksimum*) sehingga menjadi sumber gerakan atom logam (*partikel logam*) akibat beban dari luar. Arah gerakan partikel logam ini mengikuti bentuk *die* yang merupakan *shape candidate*.

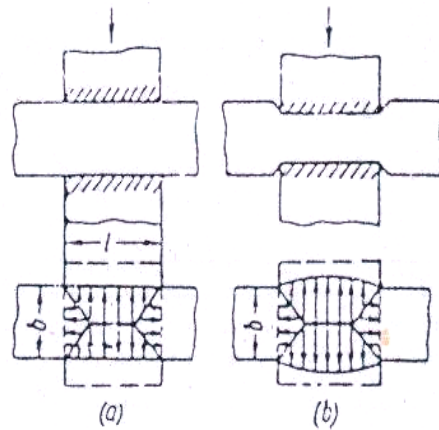
Atom-atom pada daerah deformasi ini dalam keadaan rigid sehingga daerah tersebut disebut *rigid zone*. Pada kondisi kritis dimana terjadi aliran yang terus menerus maka atom yang berada pada daerah rigid merupakan sumber aliran atom logam dan lama kelamaan akan habis (*zero partikel*) dan secara makro akan tampak retak



*Gambar 1. Fenomena plastic zone*

Terjadinya retak pada proses pembentukan akan terkonsentrasi dan dapat diprediksi pada rigid zone. Upaya untuk menghindari kondisi tersebut dapat dilakukan dengan desain tool dan perencanaan variabel proses yang memadai

Untuk mendapatkan bentuk tertentu dari suatu benda, maka material dasar yang merupakan bahan baku dari benda harus melewati proses pembentukan menuju bentuk baru yang diharapkan sesuai dengan desain. Pada saat dilakukan penempaan dengan pukulan palu atau tekanan yang cukup, maka logam akan mengalami deformasi plastis hingga berubah bentuk tanpa mengalami patah dan adanya keretakan pada logam. Mekanisme deformasi plastis tampak jelas adalah berupa pergerakan butiran-butiran logam yang menyebar dari daerah penekanan menuju beban tekan. Pada gambar diperlihatkan skema aliran logam saat deformasi plastis ketika proses penempaan, yang mana arah pergerakan butiran ditunjukkan oleh tanda anak panah. (Murjito, Syariman, skripsi, 2005)



Keterangan :  
 a. Awal deformasi  
 b. Akhir deformasi

Gambar. 2 Skema aliran deformasi pada logam

### 2.1. Macam-macam cacat pada proses Tempa (forging)

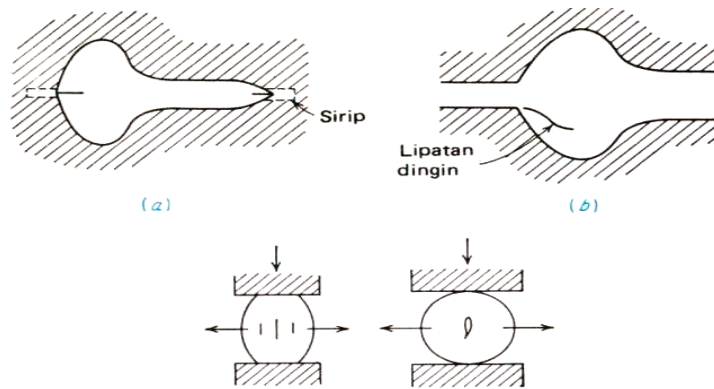
Kegagalan , disamping membuang biaya yang cukup besar juga memakan waktu perencanaan produksi yang dapat mengganggu jadwal (*time schedule*) produk lainnya. Dalam perancangan dengan menggunakan konsep metode klasik umumnya mempunyai tingkat kegagalan yang cukup tinggi dan membutuhkan biaya yang cukup besar karena dibutuhkan *trial and error*. Kegagalan ini dapat diperkecil apabila keahlian , pengalaman, intuisi, kreatifitas yang dimiliki oleh perencana tinggi dan melakukan prosedur-prosedur iterasi yang melibatkan usaha percobaan yang ekstensif. (Angelo C , a.l. 2001).

Secara garis besar kegagalan dibagi menjadi 2 yaitu kegagalan produk dan kegagalan cetakan yang mempunyai keterkaitan baik langsung maupun tidak langsung. Contoh kegagalan tidak langsung adalah produk gagal karena volume *raw materialnya* kurang, demikian juga gagal karena kesalahan penyetelan (*bad setting*) yang memungkinkan terjadinya benturan.

Cacat produk (defect) diklasifikasikan menjadi 2 yaitu pertama kemungkinan-kemungkinan cacat yang digolongkan menjadi 6 group yaitu :

- Cacat lipatan (*folds*)
- Cacat geser (*shear defects*)
- Retak (*cracks*)
- Cacat permukaan (*surface defects*)
- Cacat bentuk (*form defects*)
- Cacat struktur (*structural defects*)





Gambar 3. Bentuk-bentuk kegagalan pada die forging

Klasifikasi kedua adalah kemungkinan-kemungkinan penyebab dari cacat tersebut. Khusus tentang cetakan (die/tool) cacat pada produk dapat disebabkan karena geometri, kondisi, permukaan dan meterialnya. (Murjito, 2006).

## 2.2. Variabel – variabel Proses

### a. Temperatur

Pada hot forging temperature sebagai salah satu variabel yang menentukan dalam proses yang merupakan bagian penting yang mempunyai kontribusi besar terhadap kegagalan produk. Bagaimana keberadaan temperature yang makin besar terhadap parameter lain yaitu :

- Tegangan, dengan bertambah tingginya temperatur maka kekuatan cetakan akan makin rendah
- Kekerasan, akan terjadi penurunan nilai kekerasan, sehingga kegagalan terhadap keausan akan makin mudah terjadi. Kegagalan keausan dibedakan menjadi 3 yaitu *abrasive wear*, *adhesive wear*, dan *plastic deformation*.

a. Abrasive Wear merupakan keausan yang diawali dengan perpindahan material secara perlahan karena adanya ruang aliran yang kecil, material alir keras dan partikel tajam diantara cetakan dan material benda kerja yang mengakibatkan ruang cetakan bertambah besar.

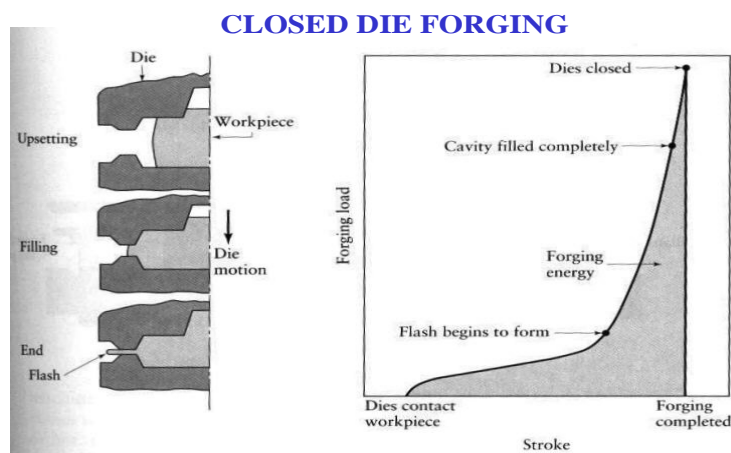
b. Adhesive wear, merupakan keausan karena adanya luluh/peleburan (*melting*) dan sifat pengelasan (*welding*) pada permukaan daerah kontak local antara cetakan dengan benda kerja dan sebagai akibatnya ruang cetakan akan bertambah sempit.

c. Plastic deformation, merupakan perpindahan material secara permanen akibat adanya tekanan dan temperatur lokal yang tinggi.

Liu Qingbin dan kawan-kawan, menjelaskan bagaimana peranan pentingnya temperatur pada tempa (*forging*). Pengaruh temperatur dapat menurunkan energi deformasi, meningkatkan kemampuan material dalam bergerak (mengalir) tanpa cacat retak (*crack*), dan dapat menghomogenkan dengan sangat baik strukturnya. Pada cetakan akan terjadi penurunan tekanan secara menyeluruh, namun bila kecepatan pukul rendah justru transfer panas ke cetakan cukup besar. Keadaan ini perlu diwaspadai agar tidak menimbulkan efek negative selama siklus proses produksi keseluruhan. Apabila kecepatan tinggi, transfer panas ke cetakan tidak begitu besar (tidak cukup waktu) tetapi justru akan terjadi aliran material yang tinggi sehingga meningkatkan nilai gesekan terhadap cetakan. Disamping akan terjadi volume deformasi yang cukup cepat sehingga terjadi peningkatan temperature permukaan yang signifikan pada benda kerja.

### b. Tekanan

Variable penting lainnya dalam proses perancangan cetakan adalah tekanan. Kontinuitas penempaan dalam waktu yang cukup lama dapat menyebabkan kelelahan pada cetakan. Bila profil yang dimiliki cetakan cukup rumit akan dapat memperbesar probabilitas kegagalan karena adanya kemungkinan daerah-daerah local tempat konsentrasi tegangan terjadi lebih besar. Akan berbeda halnya bila profil cetakan datar, hanya mengalami tegangan tekan yang mempunyai probabilitas kegagalan cukup kecil (*F.Deschaux, F.Schmidt, C.Levaillant and J.C.Boyer. 1998*). Munculnya kelelahan ini akan dapat menimbulkan daerah plastis (*plastic zone*) yang dapat memunculkan keausan dan bila terdapat konsentrasi tegangan maka kegagalan retak akan terjadi



Gambar 4. Distribusi tekanan pada cetakan

### c. Kecepatan

Faktor kecepatan yang dimaksud disini adalah hasil dari proses pemukulan mesin tempa (*forging*) yang berakibat langsung dengan aliran material (*billet*) dengan cetakan. Dengan kapasitas atau spesifikasi mesin yang sama kecepatan aliran material pada setiap titik dalam rongga cetakan dapat terjadi aliran yang berbeda tergantung akan besar kecilnya luasan rongga. Dengan terjadinya aliran ini material akan mengalami gesekan dengan cetakan sebagai sumber penyebab munculnya keausan. Makin tinggi aliran material, maka keausan akan makin cepat terjadi.

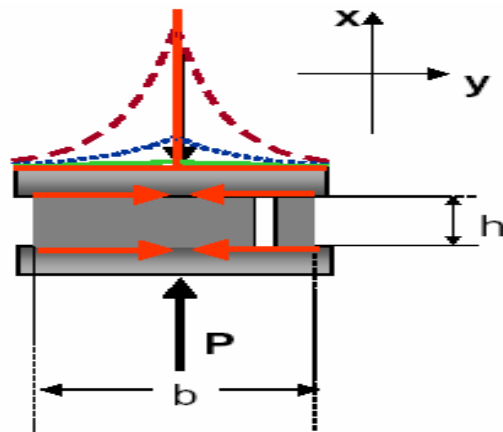
Dalam kondisi aliran yang sama beberapa variabel yang ikut berperan dalam keausan adalah kekerasan permukaan, tingkat kekasaran butiran material *billet*, besar kecilnya temperatur pada *billet* maupun yang terjadi pada cetakan (*dies*), tekanan yang bekerja pada rongga cetakan dan pelumasan yang digunakan. Keausan akan cepat terjadi bila pada daerah tersebut mempunyai kecepatan aliran benda kerja, temperatur cetakan, dan tekanan yang diterima cetakan masing-masing bernilai tinggi.

*Nilai-nilai kecepatan untuk berbagai macam peralatan tempa.*

Mesin Tempa	Kecepatan	
	ft/detik	m/detik
Mesin palu jatuh (akibat grafitasi)	12-16	3,6-4,8
Mesin palu	10-30	3,0-9,0
Mesin HERF	20-80	6,0-24,0
Mesin mekanik	0,2-5	0,06-1,5
Mesin hidrolis	0,2-1,0	0,06-0,30

### d. Pelumasan

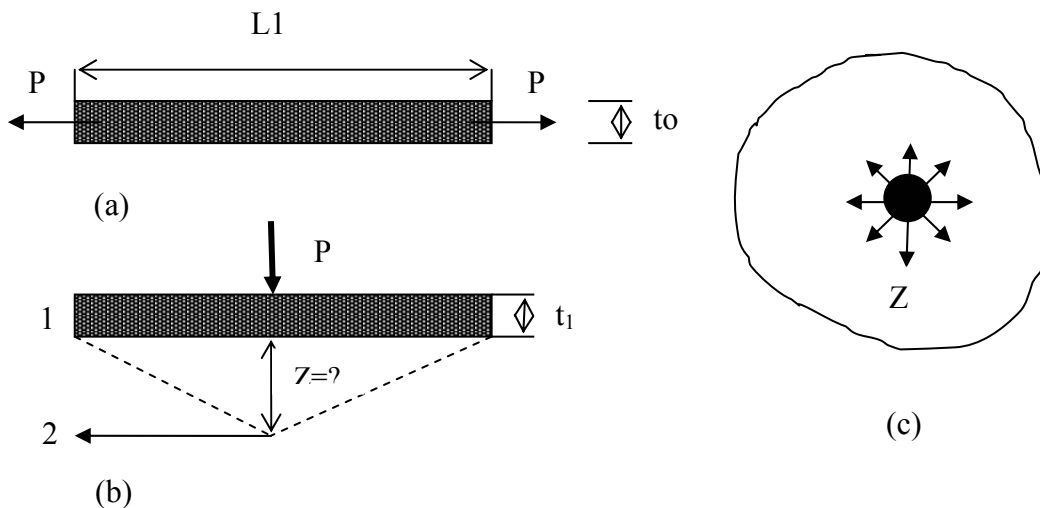
Dalam proses tempa pelumasan merupakan variabel yang berperan untuk mengurangi atau menghambat peningkatan panas pada cetakan, mengurangi efek gesekan antara cetakan dengan benda kerja, dan menjaga agar benda kerja tidak melekat pada cetakan. Pada proses *warm forging*, umur cetakan pada *punch backward extrusion* dipengaruhi oleh *heat crack* dan penipisan lapisan permukaan. Untuk meningkatkan umur cetakan, penting akan adanya pelekatan lapisan pelumas dengan merata yang melindungi atau membalut secara kuat dari cetakan tersebut. (T.Iwama, 2000).



Gambar 5. distribusi pelumasan

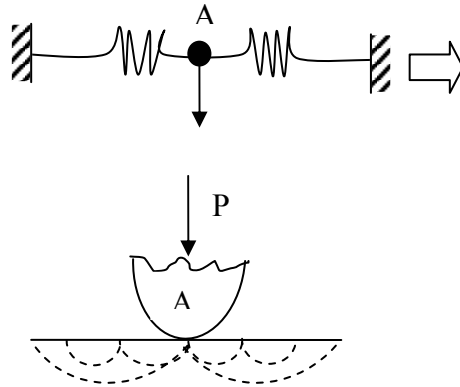
### 2.3. Formulasi Pastic Zone

Bentuk deformasi yang sederhana :



Gamabar 6. a. Kondisi awal sebelum pembebanan  
 b. 1. Posisi awal  
 2. Posisi saat terjadi rigid point  
 c. Aliran partikel material pada rigid point

Deformasi plastis pada material dibawah titik A terbatas, hal ini disebabkan pada zone deformasi disekitarnya masih bersifat elastis. Deformasi yang terlokalisir disebelah bawah punch dengan geometri yang kecil akan berakibat naiknya tegangan luluh.



Gambar 8. *Interface punch dan benda kerja*

Kenaikan tegangan luluh ini merupakan geometrical constraint (kendala geometri)

Dari kurva tegangan-regangan untuk uniaxial :

Pada daerah plastis, pada domain  $\epsilon > \epsilon_y$  maka;

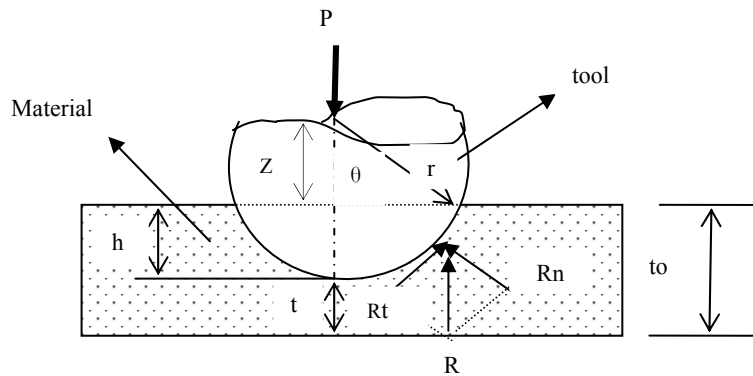
$$\sigma = \sigma(\epsilon) \dots\dots\dots > \text{non linier}$$

$$\dots = P\epsilon^n$$

dimana : n = hardening constant dan annealing constant

#### 2.4. Contoh Aplikasi pada Proses Pembentukan

Proses forging dengan bentuk punch yang dipakai adalah berbentuk bola (sphere)



Gambar 9. *Penetrasi punch pada material*

- Dimana :
- to = tebal material awal
  - t = tebal material saat defoemasi
  - h = kedalaman penetrasi
  - r = radius punch
  - $Z = r \cos \theta$

Kesetimbangan Gaya :

$$P = R$$

$$P = Rn \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta + Rt \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta$$

dimana :  $Rt = \mu Rn$  , sehingga :

$$P = Rn \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta + \mu Rn \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta$$

$$Rn = \frac{P}{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta + \mu \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta}$$

Dalam hal ini, tegangan arah normal (radial)

$$\sigma_n = \frac{Rn}{dA} \text{ merupakan } \sigma_1 \longrightarrow \text{Maximum principle's stress}$$

Tegangan dalam arah tangensial (arah  $\theta$ ) =  $\sigma_t = \mu \sigma_n = \frac{Rt}{dA}$  merupakan  $\sigma_3 \rightarrow$  minimum

principle's stress

Untuk punch berbentuk sphere (simetri) , maka :  $\sigma_2 = \sigma_3$

Dalam proses forging tegangan yang bekerja adalah "triaxial compression" sehingga tegangan principle's stress yang terjadi adalah  $-\sigma_1 ; -\sigma_2 ; -\sigma_3$ ; .dan  $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

Kriteria Luluh Tresca – Von Misses

$$\sigma_1 - \sigma_3 = mY$$

$$\frac{-P}{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta + \mu \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta} + \mu \frac{P}{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta + \mu \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta} = \frac{(\mu - 1)P}{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta + \mu \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta} = mY$$

Persamaan Prandtl – Reuss untuk regangan plastis total

$$(d\varepsilon_{ij})_{tot}^p = \frac{1+\nu}{E} d\sigma'_{ij} + \frac{1+2\nu}{E} \frac{d\sigma_{kk}}{3} \delta_{ij} + \frac{3}{2} \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \sigma'_{ij}$$

dimana :  $\sigma = Y$  = tegangan alir pada kriteria luluh

$$\bar{\sigma} = \frac{3}{2} \frac{(d\varepsilon_{ij})_{tot}^p - \frac{1+\nu}{E} d\sigma'_{ij} + \frac{1+2\nu}{3E} d\sigma_{kk} \delta_{ij}}{d\varepsilon \cdot \sigma'_{ij}} \text{ maka :}$$

$$\frac{(\mu-1)P}{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta + \mu \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin \theta d\theta} = m \left[ \frac{3}{2} \frac{(d\varepsilon_{ij})_{tot}^p - \frac{1+\nu}{E} d\sigma'_{ij} + \frac{1+2\nu}{3E} d\sigma_{kk} \delta_{ij}}{d\varepsilon \cdot \sigma'_{ij}} \right]$$

## **BAB III**

### **TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

#### **3.1. Tujuan Penelitian**

Tujuan khusus yang ingin dicapai oleh peneliti adalah:

- Tahun I :  
Untuk mendapatkan formula proses forging dengan pertimbangan karakteristik dari material, size dan geometri untuk mencapai presisi, akurasi yang tinggi dan urutan proses forging.
- Tahun II :  
Untuk mengetahui besarnya kontribusi variable-variabel utama yaitu temperature, tekanan, kecepatan pemukulan dan pelumasan terhadap tingkat kerusakan (*failure*), keausan (*wearing*) atau cacat (*defect*) lainnya pada perancangan cetakan pada proses tempa (forging)

#### **3.2. Manfaat dari penelitian**

1. Dari segi teoritis (model matematis vs eksperimentasi)

Pengembangan konsep persamaan dan formulasi terhadap model pembebanan yang terjadi pada proses forging yang menunjang inovasi teknologi yang mandiri dan pengembangan ilmu pengetahuan yang bermanfaat dalam pemakaian pada proses pembentukan khususnya proses forging.

2. Dari segi praktis (aplikasi)

Dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam proses forging dan penentuan bentuk proses serta sebagai parameter yang mempengaruhi pada proses forging



## BAB IV

### METODE PENELITIAN

#### 4.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Pahl & Beitz yang lazim digunakan dalam desain, yang terdiri dari beberapa fase sebagai berikut:

##### 1. Perancangan Proses Forging

Perancangan merupakan kegiatan awal untuk mendapatkan produk, dari sini akan diperoleh formula proses pengerjaan forging dan urutan-urutan proses yang dapat mencegah terjadinya cacat.

##### 2. Formulasi matematis pada perancangan proses forging

Sebelum dilakukan tahap analisis perlu memformulasikan secara matematis pada perancangan cetakan dan tahapan proses produksi yang disesuaikan dengan tipologi proses pembentukan material.

##### 3. Pengujian Variabel – Variabel Utama

Untuk mengetahui seberapa jauh hubungan variabel-variabel utama terhadap kegagalan produksi pada proses forging, maka dibuat spesmen pengujian di laboratorium

##### 4. Analisis formulasi matematis dengan soft ware ANSYS

Analisis sensitivitas desain dengan berorientasi variable-variabel utama yaitu temperature, tekanan, kecepatan pemukulan dan pelumasan untuk mendapatkan tingkat kerusakan (*failure*), keausan (*wearing*) atau cacat (*defect*) lainnya pada proses forging dengan menggunakan soft ware ANSYS.

Pada penelitian ini akan dibagi menjadi dua periode yaitu: pada tahun pertama bertujuan untuk analisa serta modifikasi bagian-bagian mesin dan urutan proses forging yaitu; Aplikasi pengerjaan mesin, parting line is property, internal dan eksternal drafting, dengan mempertingbangan karakteristiknya (material, size dan geometri).

Penelitian tahun kedua merupakan kelanjutan penelitian pertama yang terdiri beberapa tahap. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variabel – variabel terhadap kerusakan pada proses forging.

## **PENELITIAN TAHUN PERTAMA**

Pada penelitian tahap pertama ini tujuannya untuk mendapatkan formula yang berpengaruh pada proses pembentukan forging.

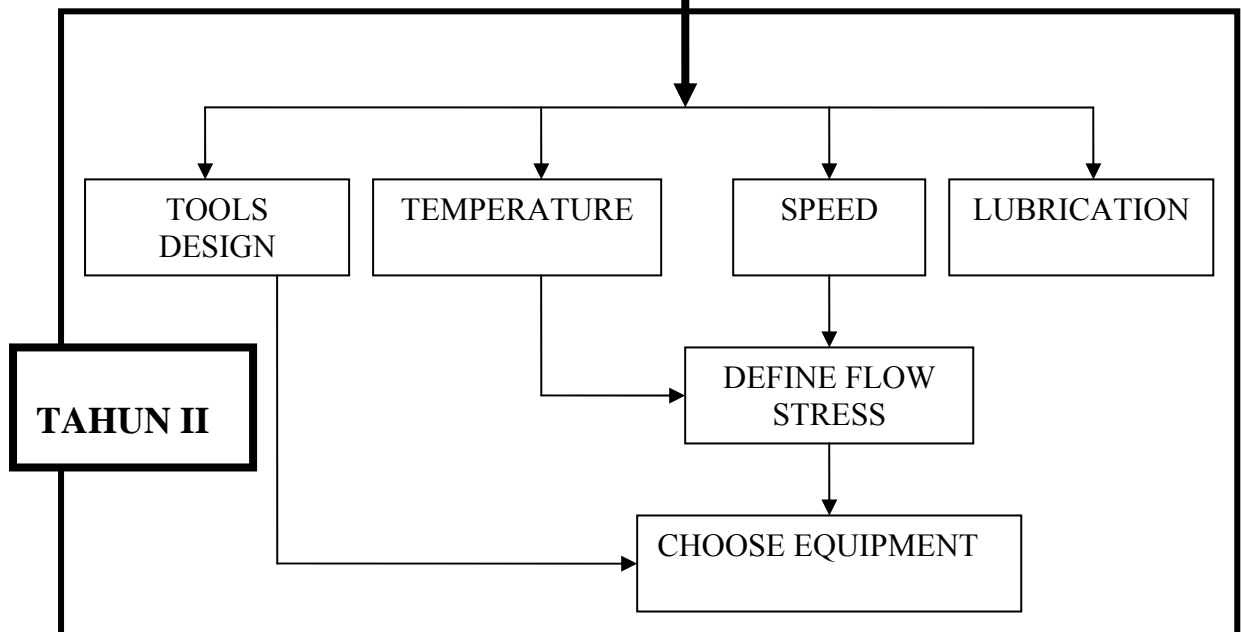
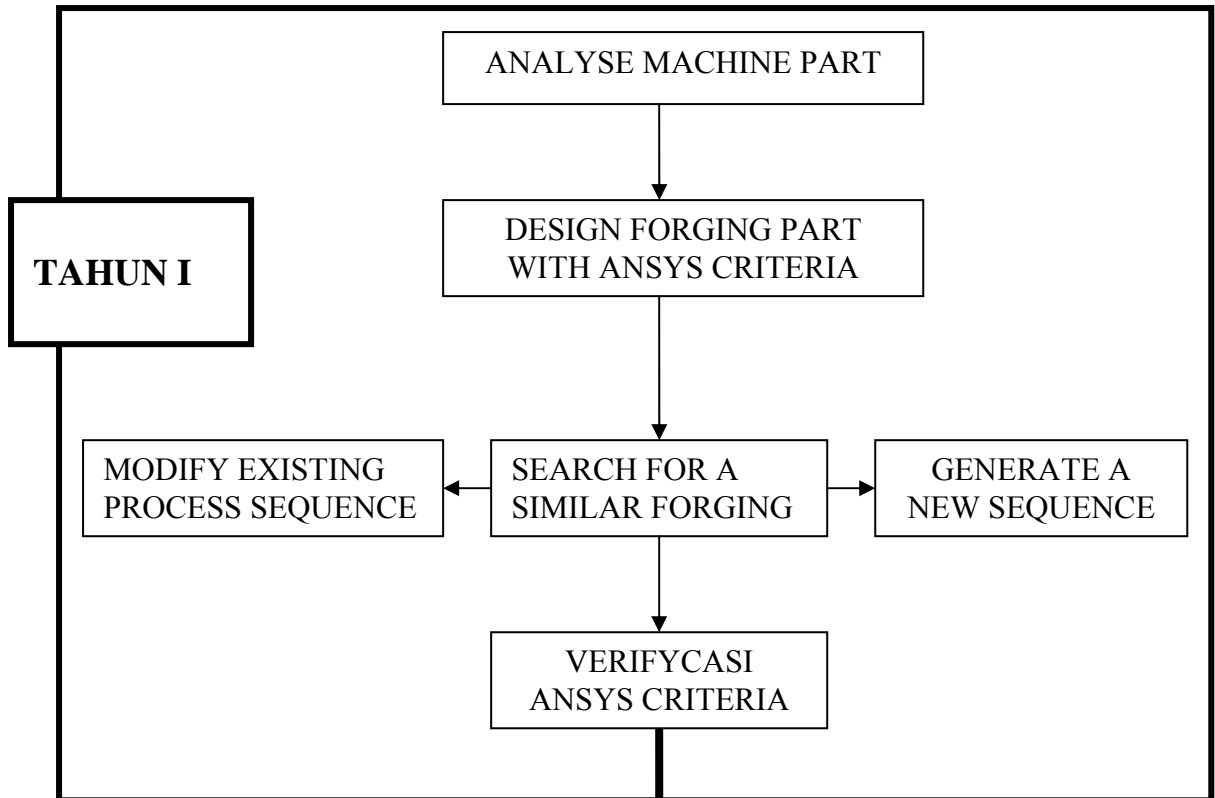
- a. Analisis bagian-bagian mesin (*Analyse machined part*) yaitu menganalisa elemen elemen yang berpengaruh misal gaya , daya dan energi yang digunakan pada mesin forging
- b. Perancangan benda kerja forging dengan bantuan program ANSYS yaitu untuk menentukan volume dan tahapan proses.
- c. Memodifikasi urutan proses yang ada (*modify existing process sequence*).
- d. Membandingkan proses-proses yang serupa dengan forging (*search for a similar forging*)
- e. Penentuan urutan proses yang baru dengan program ANSYS (*generate a new sequence*).
- f. Memferifikasi faktor-faktor yang berpengaruh pada proses forging dengan program ANSYS

## **PENELITIAN TAHUN KE DUA**

Pada penelitian tahap kedua ini mempunyai tujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variabel – variabel terhadap kerusakan pada proses forging yang mempunyai dimensi dan ukuran sesuai dengan desain pada penelitian tahap pertama, pada penelitian ini mempunyai tahapan yaitu :

- a. Pengaruh tools design terhadap tingkat kerusakan pada proses forging
- b. Menganalisa keberadaan temperatur terhadap kegagalan pada proses forging
- c. Menganalisa Besarnya tekanana terhadap kegagalan pada proses forging
- d. Menganalisa faktor kecepatan pemukulan pada mesin forging yang berakibat langsung pada aliran material.
- e. Menganalisa pengaruh besarnya pemberian pelumaan terhadap efek gesekan dan pengurangan panas.

### **4.2. Diagram Alir tahapan Proses Penelitian**



### 4. 3. Perangkat Lunak (*Softaware*) ANSYS 5.4

ANSYS 5.4 adalah perangkat lunak (*software*) yang dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai kasus dibidang Struktur, *Thermal* dan Fluida. Perangkat lunak (*software*) ini berbasis pada metoda elemen hingga. Perangkat lunak (*software*) ini sangat berguna untuk diterapkan dalam bidang konstruksi .

ANSYS 5.4 untuk bidang konstruksi khususnya untuk analisis struktur menyediakan berbagai tipe analisis stuktur, misalnya :

#### 1. Analisis Statik (*Static Analysis*)

Digunakan untuk menghitung perpindahan (*displacement*), tegangan (*Stresses*) dan lain-lain dibawah kondisi pembebanan *static*. Analisis Statik meliputi linier dan non linier. Non linier meliputi *Plasticity, stress, stiffness, large deflection, large strain, hyperelasticity, contact surfaces*, dan *creep*.

#### 2. Analisis Modus Getar (*Modal Analysis*)

Digunakan untuk menghitung frekuensi natural dan bentuk modus getar.

#### 3. Analisis Harmonik (*Harmonic Analysis*)

Digunakan untuk menentukan respon struktur akibat beban harmonik (beban sinusoidal).

#### 4. Analisis Dinamik Transien (*Transient Dynamic Analysis*)

Digunakan untuk menentukan respon struktur akibat beban dinamik sembarang.

#### 5. Analisis Spektrum (*Spectrum Analysis*)

Kelanjutan dari analisis modus getar, digunakan untuk menghitung tegangan dan regangan akibat beban atau random.

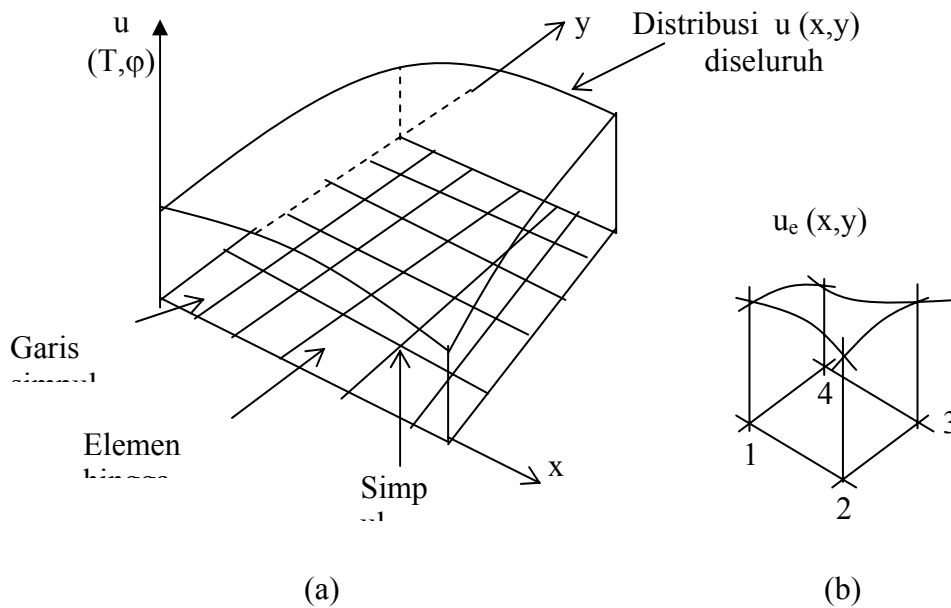
#### 6. Analisis Tekukan (*Buckling Analysis*)

Digunakan untuk mencari *buckling load* (beban kritis) dan menentukan model *buckling*.

#### 4.4. Metode Elemen Hingga

Perangkat lunak (*software*) ANSYS 5.4 yang menggunakan dasar prinsip metode elemen hingga, disini akan dijelaskan sedikit mengenai metode elemen hingga tetapi dalam analisis tegangan ini tidak dibahas mengenai metode elemen hingga.

Bila suatu kontinum dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil. Bagian-bagian ini disebut elemen hingga. Proses pembagian suatu kontinum menjadi elemen hingga ini sering dikenal sebagai proses *diskritisasi* (pembagian). Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga (bukannya kecil tidak berhingga) dan umumnya memiliki bentuk geometri yang lebih sederhana dibandingkan dengan kontinumnya. Dengan menggunakan metode elemen hingga dapat dirubah masalah yang memiliki jumlah derajat kebebasan tidak berhingga menjadi suatu masalah dengan derajat lebih sederhana. Derajat kebebasan dapat didefinisikan sebagai suatu perpindahan bebas (tidak diketahui) yang dapat terjadi di suatu titik. Perpotongan antar elemen dinamakan simpul atau titik simpul dan permukaan antar elemen-elemen disebut garis simpul dan bidang simpu

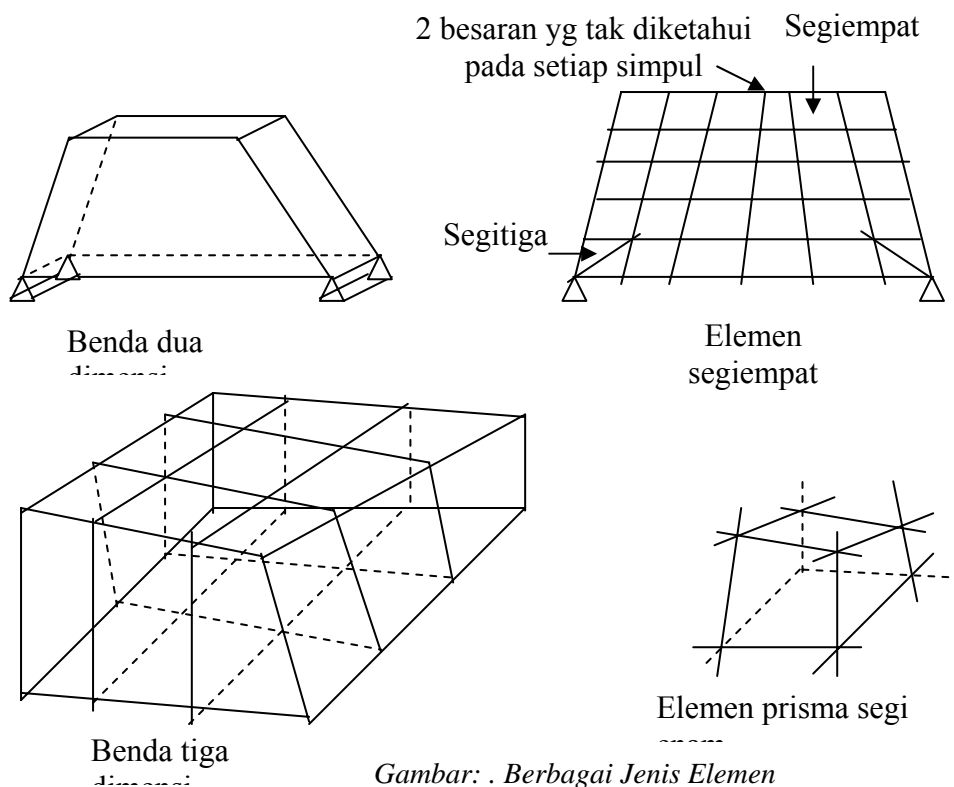


Gambar : Istilah Perpindahan

Langkah –langkah dalam metode elemen hingga yang diambil disini yaitu hanya mengenai diskritisasi (*meshing*) dan pemilihan jenis elemen, sedangkan untuk langkah selanjutnya hanya sebagai urutan tinjauan mengenai metoda elemen hingga

1. *Diskritisasi dan pemilihan jenis elemen*

Merupakan pembagian benda menjadi sejumlah benda kecil yang sesuai, yang dinamakan elemen-elemen hingga. Untuk benda-benda dua dimensi dapat menggunakan jenis elemen segi tiga dan segi empat, sedangkan untuk benda tiga dimensi kita dapat menggunakan suatu prisma segi enam (*hexahedron*)



Gambar: . Berbagai Jenis Elemen

2. *Memilih model atau fungsi pendekatan*
3. *Menentukan hubungan regangan(gradien)-perpindahan (yang tidak di ketahui) dan tegangan regangan .*
4. *Menurunkan persamaan elemen-elemen*
5. *Perakitan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global dan mengenal syarat batas*
6. *Memecahkan besaran-besaran primer yang tidak diketahui*
7. *Memecahkan besaran-besaran penurunan sekunder*
8. *Interpretasi hasil-hasil*

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Sasaran utama dari teori pembentukan logam adalah memperkirakan besar deformasi dari logam dan besarnya beban yang diperlukan untuk itu. Dalam industri hal semacam ini pada umumnya diabaikan dan hanya didasarkan pada bagaimana dapat melakukan perubahan bentuk yang diinginkan tanpa mau tahu tegangan dan regangan didalam material.

Tujuan dari perkiraan beban kerja dan evaluasi akibat perubahan-perubahan dari parameter-parameter dalam proses seperti : rolling dll adalah untuk memanfaatkan secara tepat kemampuan mesin agar dicapai produktivitas maksimum ataupun untuk mendapatkan ukuran besarnya mesin / peralatan yang diperlukan. Untuk itu telah dikembangkan beberapa teori atau metoda analisa yang mempunyai berbagai batasan dan asumsi. Asumsi-asumsi atau anggapan-anggapan tersebut dimaksudkan untuk menyederhanakan masalah, sehingga analisa perhitungannya dapat diselesaikan. Perbedaan yang semakin besar antara asumsi dan kenyataan sudah barang tentu akan menimbulkan penyimpangan hasil analisa yang semakin besar pula. Dengan demikian diperlukan pemikiran apakah anggapan-anggapan itu cukup mendekati keadaan yang sebenarnya sebelum memilih dan menggunakan metode analisa tersebut.

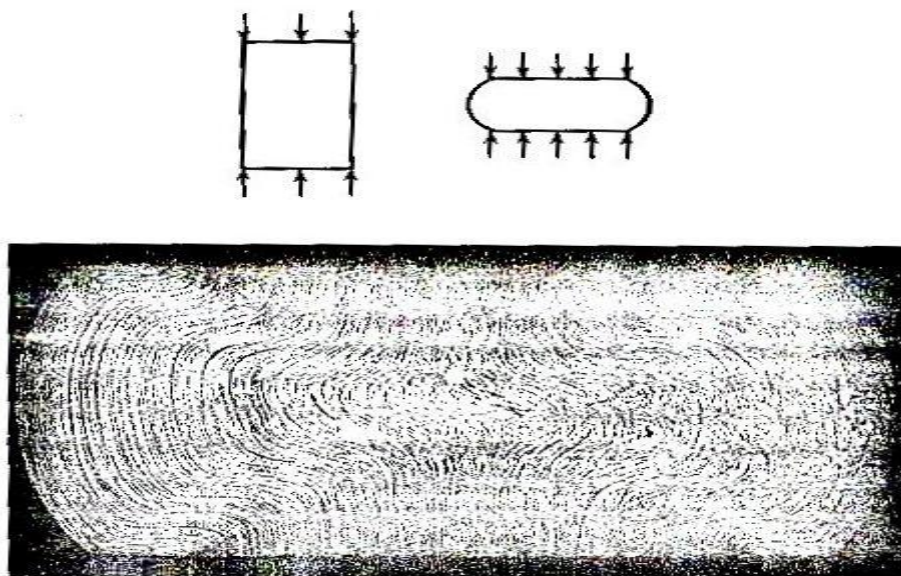
Teori atau metode untuk memecahkan masalah-masalah plastisitas teknik tersebut adalah :

1. Metode Slab ( *Slab method* ), yang mengasumsikan bahwa distribusi tegangan pada penampang adalah seragam atau uniform.
2. Metode Energi Deformasi Seragam ( *Uniform Deformation Energy Method* ), yang mempunyai prinsip bahwa kerja atau usaha yang masuk oleh adanya gaya luar adalah sama dengan energi deformasi pada material benda kerja.
3. Teori Medan Garis Slip ( *Slip Line Field Theory* ), yang digunakan untuk menganalisa proses deformasi yang bersifat regangan bidang ( *plane strain* ) terhadap material yang tidak mengalami pengerasan regang.
4. *Upper And Lower nd Solution*, yang berdasarkan teori elemen hingga guna menghitung daerah kerja gaya pembentukan yang sebenarnya dengan menentukan tegangan alir yang terendah dan yang tertinggi agar material terdeformasi secara plastis.

Dalam analisa-analisa tersebut perhatian lebih difokuskan pada daerah deformasi, yaitu daerah atau zone pada benda kerja yang pada suatu saat mengalami perubahan bentuk,

merupakan tempat terdistribusinya tegangan regangan dan kecepatan partikel yang merata serta tekanan-tekanan yang diperlukan untuk operasi. Gaya yang diberikan harus membuat material lulur ( yielding ) dan tegangan yang terjadi harus merata agar tidak terjadi retak. Kejadian-kejadian yang bersifat metallurgi adalah sangat penting, seperti pengerasan regang, rekristalisasi ; dan retak kerap kali terjadi pada kondisi-kondisi spesifik karena laju regang yang tinggi dan atau temperatur tinggi. Tegangan alir ( flow stress ) dari material akan merupakan fungsi dari regangan, laju regang dan temperatur. Gesekan sepanjang bidang kontak dan perpindahan panas dari benda kerja ke-dies perlu diperhatikan sehubungan dengan pelaksanaan praktisnya, seperti keausan die dan kondisi permukaan akhir produk.

### 5.1. Langkah-langkah proses forging pada lembaran



Gambar : Skematik Proses Forging

Langkah dari cetakan serta beban yang terjadi dapat dibuat dalam bentuk diagram seperti gambar diatas . dapat diuraikan secara sederhana sebagai berikut.



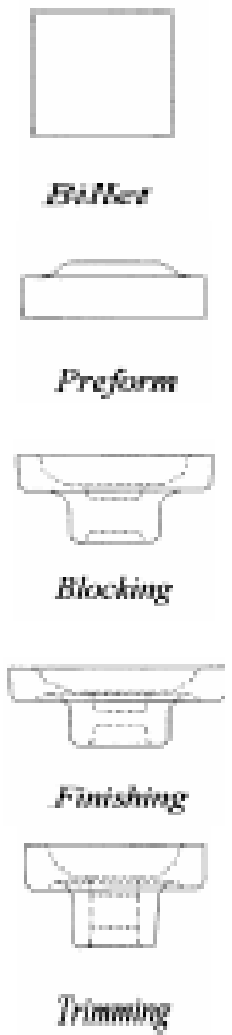
- Pada tahap cetakan mulai kontak hingga flash mulai terbentuk aliran logam yang pada mulanya sampai pada lubang flash yang kecil akan berubah arah kebagian lain dari rongga benda kerja.
- Untuk ini diperlukan gaya yang makin yang makin besar seperti terlihat dalam diagram.

Untuk mengisi seluruh rongga cetakan tekanan harus lebih besar lagi, agar cetakan dapat tertutup tekanan harus lebih besar yang digunakan untuk mengisi dan memanfaatkan semua rongga termasuk rongga flash, dengan logam

Untuk melakukan kerja penempaan yang lengkap, beban mesin yang tersedia harus melebihi beban yang dibutuhkan oleh proses dan energi mesin yang tersedia harus lebih besar dari pada energi yang diperlukan oleh seluruh langkah proses.

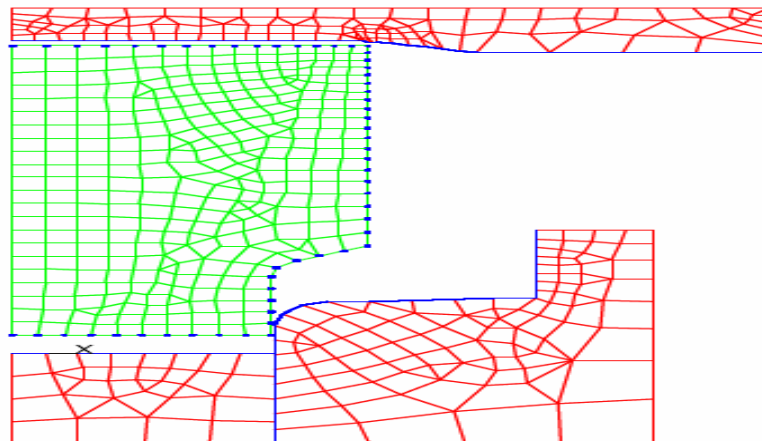
Karakteristik mesin yang paling penting adalah jumlah langkah tempa tiap menit, karena hal ini menentukan laju produksi. Kecepatan dengan tekanan  $v_p$  adalah kecepatan mesin pada saat diberi beban. Variable tersebut menentukan laju regangan ( yang mempengaruhi tegangan alir) dan waktu kontak tekan  $t_p$ . Nilai – nilai  $v_p$  untukm berbagai jenis mesin diberikan padatablel 13.1. waktu kontak adalah waktu benda kerja selama ditekan dalam cetakan. Karena perpindahan panas antara benda tempa yang panas dan cetakan yang lebih dingin paling efektif apabila antara permukaan mengalami tekanan yang tinggi, maka keausan tetakan meningkat, apa bial  $t_p$  bertambah besar. Ketelitian dimensi bagian yang dihasilkan berkaitan langsung dengan kekakuan peralatan.

## 5.2. Tahapan proses

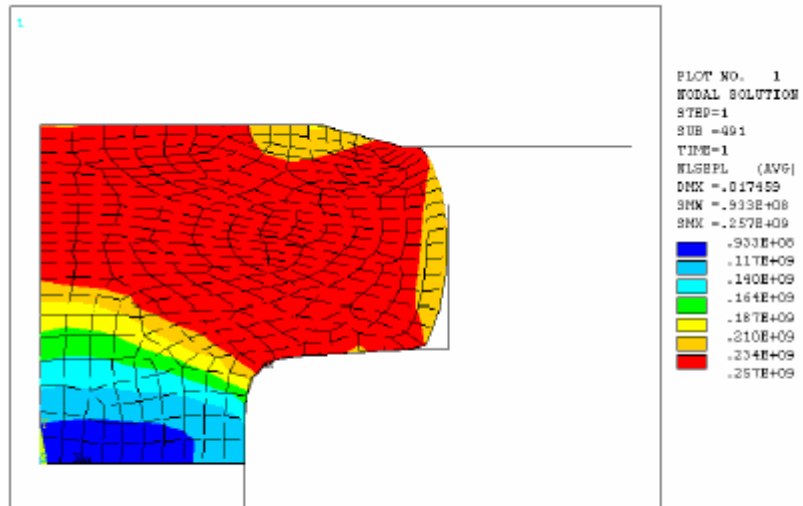


Gambar : Urut-urutan proses forging

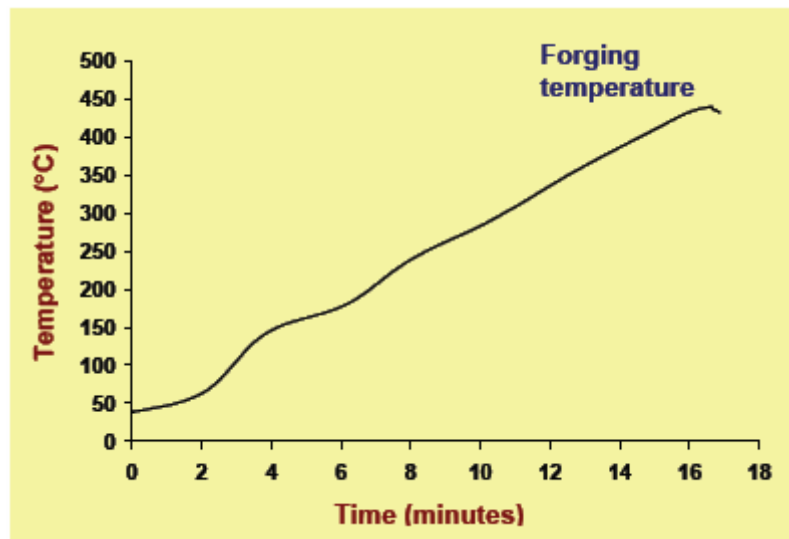
5.3. Bentuk diskrit Proses forging melalui program Ansys



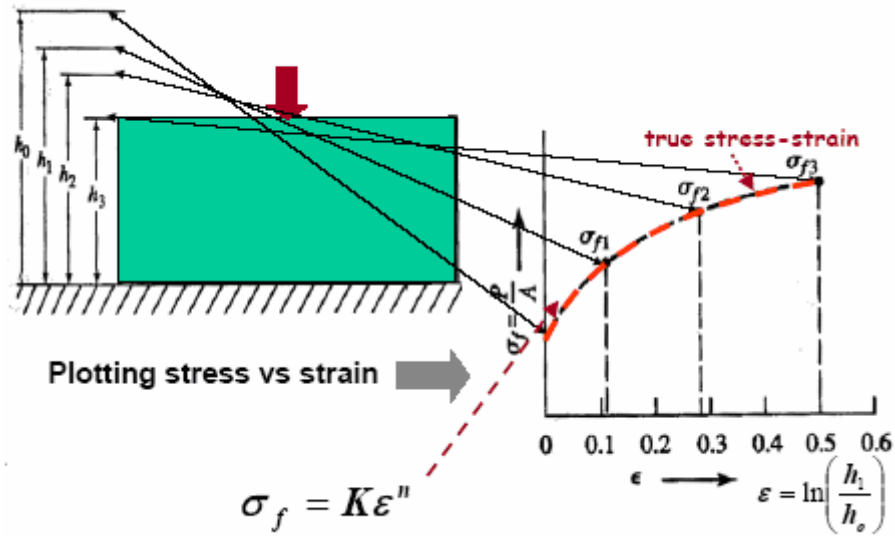
Gambar: diskrit Forging



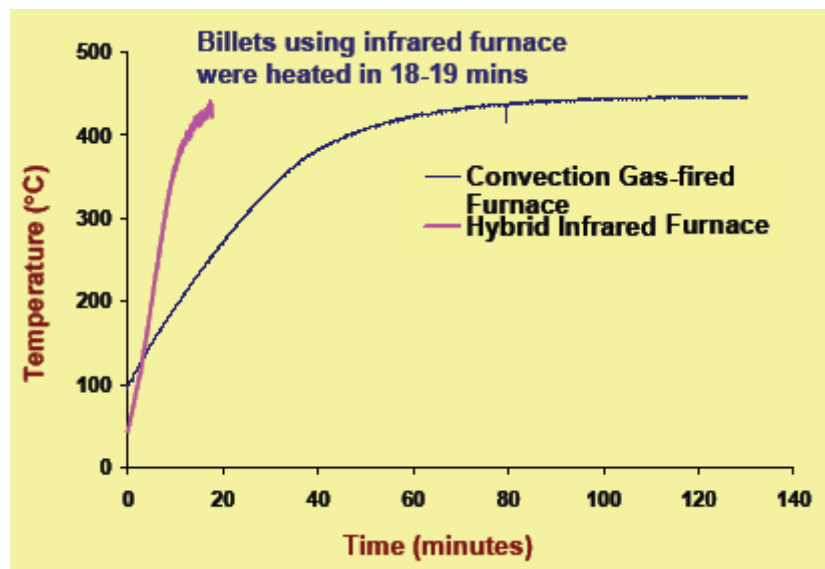
Gambar: Distribusi tegangan Pada Proses forging



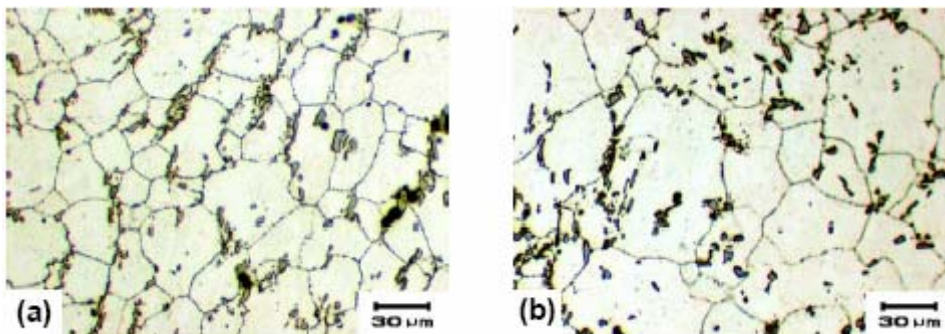
Gambar: Grafik temperatur Pada proses penuangan



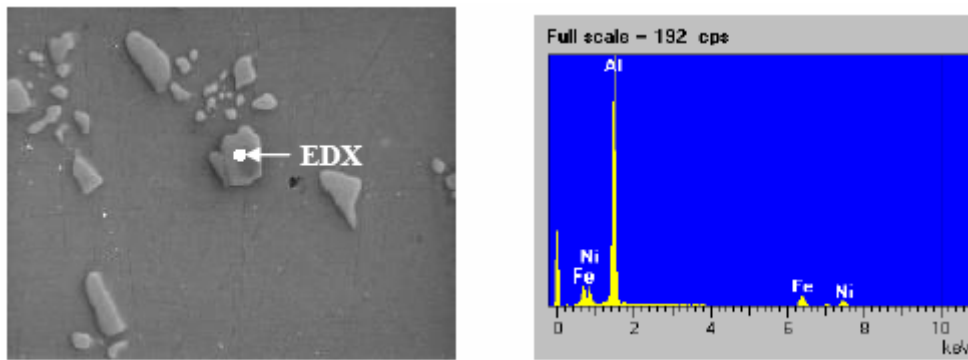
Gambar : Distribusi tegangan pada daerah deformasi plastis



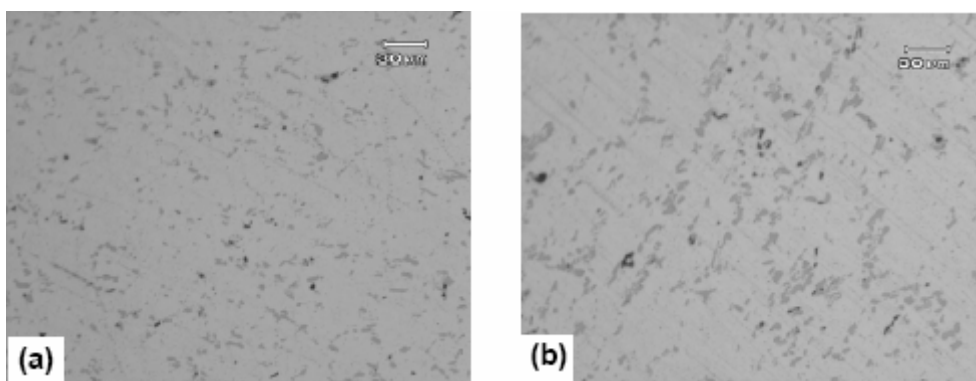
Gambar : Perbandingan temperatur yang dikerjakan dengan konvensional dengan Hybrid



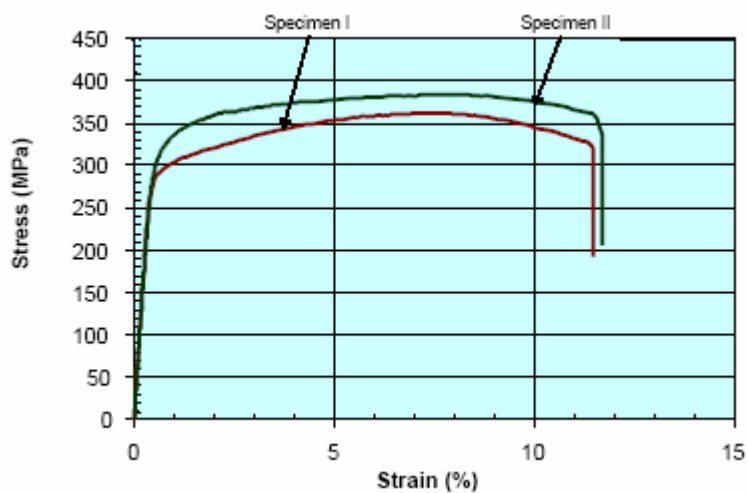
Gambar : Mikrostruktur a. Dengan menggunakan Hibrid dan b. Konvensional



Gambar : grain boundaries



Gambar: Mikrostruktur setelah proses forging antara konvensional dan Hibryd



Gambar : Grafik tegangan dan regangan pada specimen 1 dan 2 dengan temperatur kamar

### 5.3. Pembahasan Hasil Penelitian

Analisa ini menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya kegagalan akibat kelelahan adalah a). Terbentuknya zona plastis pada jari-jari transisi yang mengakibatkan retak dan lelah b). Tegangan-tegangan dasar maksimum seperti pada *gambar*. yang terbentuk pada jari-jari di bawah beban forging, dimana tegangan-tegangan ini menyebabkan menjalarnya keretakan *gambar*. Pada gambar ini menunjukkan bagaimana plastik zone yang terjadi mengawali munculnya retak. Pada *gambar* menyatakan distribusi kontak normal pada daerah aliran billet dan bagaimana peranan tegangan tersebut sehingga retak itu muncul. Kalau kita amati pada *gambar*. ternyata faktor geometri cetakan mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap kegagalan terutama pada jari-jari cetakan.

Hal yang dapat kita lakukan agar kelelahan, kegagalan itu berkurang adalah melakukan redesain dengan mengkondisikan agar daerah fillet dan corner tersebut terjadi aliran logam cukup lancar yang dapat mengurangi nilai tekanan dan merubah nilai serta orientasi tegangan utama. Pengurangan nilai tegangan dalam hal ini adalah membuat agar distribusi tekanan merata.

Keadaan ini juga diperlihatkan pada proses forging dalam pembuatan connecting rod sebagaimana diperlihatkan pada table dibawah yaitu memperlihatkan profil prosesnya yang memberikan hasil eksperimen yang menyatakan bagaimana nilai beban/tegangan yang bekerja sangat dipengaruhi oleh dimensi dan geometri. Dalam kondisi material yang sama sedakan temperature yang berbeda maka dapat diketahui besarnya orientasi deformasi beberapa kali lipat. Ini membuktikan factor tekanan mempengaruhi dalam perpanjangan umur cetakan.

Pada proses redesain diharapkan kondisi yang terjadi tidak menimbulkan vector tegangan yang saling berlawanan seperti diperlihatkan pada *gambar 6. 12*. yaitu berorientasi searah dengan dengan tanpa adanya konsentrasi tegangan. Arah tegangan yang saling berlawanan dapat menimbulkan retak sebagai awal kegagalan cetakan maupun benda ker

Tabel 2. Prediksi Tegangan pada arah y dan Von mises terhadap temperature forging

Temperatur ( $^{\circ}$ C)	Von Mises Stress (MPa)	$\sigma_y$ (MPa)	Pressure (MPa)
150	206	2225	2110
150	89	1076	1031
300	61	716	680

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

- Temperatur : yang bersumber pada pemanasan awal cetakan dan transfer panas dari benda kerja akan sangat mempengaruhi kekuatan material cetakan. Makin tinggi temperatur maka akan makin menurun kekuatannya (khususnya nilai tegangan dan kekerasannya).
- Tekanan: yang bersumber dari mesin forging dan sebagai gaya aksi pada cetakan , bila tekanan luar lebih besar dengan tegangan yieldnya maka kegagalan pada cetakan akan terjadi. Pada proses Forging tekanan yang bekerja harus memberikan deformasi yang sangat kecil. Apabila deformasi yang terjadi besar dapat mempengaruhi nilai toleransi yang diijinkan pada produk. Besar kecilnya tekanan yang diterima cetakan juga dipengaruhi oleh bagaimana geometri dari cetakan sendiri dan kemampuan bentuk (formability) dari benda kerja. Sehingga dalam perancangan cetakan diharapkan tidak terjadi konsentrasi-konsentrasi tegangan yang berlebihan pada suatu titik atau daerah tertentu.
- Kecepatan : sebagai akibat dari pemukulan sehingga menjadikan billet mengalir untuk mengisi rongga cetakan yang kemudian diterima sebagai gesekan pada permukaan cetakan. Makin meningkatnya kecepatan aliran billet, menyebabkan gesekan makin besar.
- Pelumasan: yang berperan untuk mengurangi atau menghambat peningkatan panas pada cetakan, mengurangi efek gesekan antara cetakan dengan benda kerja, dan menjaga agar benda kerja tidak melekat pada cetakan. Pada proses *warm forging*, umur cetakan pada *punch backward extrusion* dipengaruhi oleh *heat crack* dan penipisan lapisan permukaan. Untuk meningkatkan umur cetakan, penting akan adanya pelekatan lapisan pelumas dengan merata yang melindungi atau membalut secara kuat dari cetakan tersebut.

#### 6.2. Saran – saran

Penelitian ini merupakan penelitian dasar, yang kemungkinan masih banyak kelemahan untuk itu perlu suatu tindak lanjut dari penelitian ini

## DAFTAR PUSTAKA

1. **Angelo Ccaporalli, Luciano Antonio G, and Sergio Tonini B. 2001**, “ Expert system for hot forging design”, Journal of Materials Processing Technology 80-81.
2. **Desai C.S, 1988**, “*Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*”, Edisi I, Jakarta, Penerbit Erlangga.
3. **Durban David, Norman A. Fleck**, “*Singular Plastic Fied in steady Penetration of rigid Con*”, Journal of engineering material and technology
4. **E.Doedge, J. Thalemann, F. Weber, 1992**, “ Hot forging of precision parts”, Journal of Materials Processing Technology 35
5. **E. Merrygold, FH. Osman, 1998**, “ Forging of complex geometries with differential heating”, Journal of Materials Processing Technology 80-81
6. **Grandien Hartley, 1986**, “*Fundamental of the Element Methode Finited*”, Machimilian Publishing Company a Division of Mac, Inc, New York, London.
7. **M.Arentoft and T. Wanheim, 2000**, “ The basis for a design support system to prevent defect in forging”, Journal of Materials Processing Technology 69.
8. **Qingbin Liu, Wu Shichun, Sun Sheng, 1998**, “ Preform design in axisymmetric forging by a new FEM –UBET method”, Journal of Materials Processing Technology
9. **Shigley, J.E, 1995**, “*PerencanaanTeknik Mesin*”, Jilid I, Edisi 4, Jakarta, Penerbit Erlangga
10. **Taylan Altan, victor Vazquez, 2000**, “*Status of process simulation using 2D and 3D finite element method, What is practical today ?, What can we expert in the future?*”, Journal of Materials Processing Technology 71.
11. **Syariman, Murjito, 2005**, “ Perancangan proses produksi connecting rod mesin diesel TS 8,5 PK dengan Impreion die forging,” Sekripsi teknik mesin UMM
12. **Murjito, 2005**, “ Teknik Pembentukan ,” Buku Ajar Teknik Mesin UMM
13. **Murjito, 2006**, “ Analisis Perancangan cetakan untuk mencegah kegagalan pada tempa”, PBI – UMM



## **PERSONALIA PENELITIAN**

### **Ketua Peneliti**

- a. Nama Lengkap dan Gelar : Murjito, ST. MT  
b. Jenis Kelamin : Laki – laki  
c. Tempat tanggal lahir : Trenggalek, 06 April 1967  
d. Golongan Pangkat : Penata Muda /III-a  
e. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli  
f. NIP – UMM : 108.9404.313

### k. Riwayat Penelitian

<b>NO</b>	<b>JUDUL PENELITIAN</b>	<b>JENIS</b>	<b>TAHUN</b>
1	Perancangan Tungku Pembakaran Keramik	PBI	2002
2	Variasi Bentuk Elastis-Plastis dari Tegangan Kontak antara Pin dan Hinge akibat Beban dinamik dengan menggunakan software ANSYS	PBI	2002
3	Analisa Tegangan pada Pin akibat beban Statik menggunakan software ANSYS	PBI	2003
4	Perancangan Tungku Pembakaran Keramik Jenis Terowongan,	PBI	2003
5	Perancangan Mesin Perajang Tempe untuk meningkatkan produksi Tempe Kota Malang	P2U	2004
6	Analisa Tegangan pada Baut Mata (Hook) pada Pesawat Angkat	PBI	2004
7	Desain Tungku Pembakaran Keramik Hemat energi	P2U	2005
8	Analisa energi panas pada tungku api berbalik pada pembakaran keramik	PBI	2006
9	Desain tungku briket batu bara untuk industri kecil dan rumah tangga	PBI	2006
10	Desain Tungku hemat energi	Dosen Muda	2006
11	Analisa perancangan cetakan untuk mencegah cacat pada tempa	PBI	2006