BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian dalam rangka mencapai tujuan yang dimaksud akan menggunakan beberapa pendekatan, yaitu pendekatan analitik, pendekatan numerik dengan simulasi FEM.

3.1 Pengambilan Data Eksperimen

3.1.1 Pelaksanaan Eksperimen

A. Material Benda Kerja

Benda Kerja yang digunakan sebagai spesimen uji dalam penelitian ini adalah kawat aluminium murni. Aluminium dipilih karena material ini memiliki karakteristik logam lunak serta banyak diaplikasikan di micro part yang mana juga merupakan tujuan dari penelitian ini untuk bisa membuat micro part.

Aluminium yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah tipe *commercial Aluminium* (*pure aluminium*) yang banyak dijumpai dipasaran dengan komposisi kimia seperti dalam tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Aluminum Murni

Unsur	**Persentase (% wt)**
Al	99.60%
Si	0.25%
Fe	0.35%
Cu	0.05%
Mn	0.03%
Mg	0.03%
Zn	0.05%
V	0.05%
Ti	0.03%
Lain-lain	0.03%

Spesimen ini diperoleh dipasaran dalam bentuk kawat tergulung dengan diameter 1,5 mm, sehingga di perlukan upaya lanjut untuk membuat spesimen menjadi ukuran yang diinginkan.

B. Bentuk dan Ukuran Benda Kerja

Benda kerja yang digunakan pada proses eksperimen studi kali ini adalah alumunium murni berbentuk kawat dengan diameter 1,5 mm dan panjang 5,06mm.

(a) (b)

Gambar 3.1 Spesimen benda uji penelitian kawat aluminium murni yang telah dipotong (a), dan Sketsa aluminium (b).

Pembuatan spesimen untuk penelitian kali ini dikerjakan dengan cara memotong kawat aluminum berdiameter 1.5 mm, menjadi potongan - potongan kecil dengan panjang tiap potongan 5.06 mm. Potongan – potongan kawat aluminum tadi kemudian dijepit salah satu ujungnya dengan menggunakan pinset, kemudian kedua ujungnya diratakan secara bergantian terlebih dahulu dengan menggunakan amplas yang kasar, nomor 400 hingga 600. Setelah kedua ujungnya rata, dihaluskan kembali dengan menggunakan amplas yang lebih halus, nomor 1000 hingga 1500.

(a) (b)

Gambar 3.2 *Vernier Caliper* (a) dan *Screw Micrometer* (b)

Pada saat memotong kawat menjadi berukuran kecil – kecil, dimensi awal diberi kelebihan panjang lebih dari 5.06 mm, untuk selanjutnya dilakukan proses perataan dan penghalusannya. Selama proses perataan, dimensi benda kerja selalu

diukur dengan *vernier caliper* yang memiliki ketelitian 0.1 mm (Gambar 3.2 (a)) atau *screw micrometer* yang memiliki ketelitian 0.01 mm (Gambar 3.2 (b)).

C. Parameter Proses

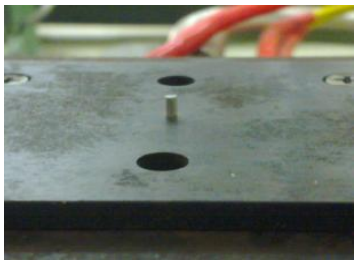
Parameter proses eksperimen yang digunakan adalah variasi beban dan kecepatan. Parameter kecepatan diatur dengan memberikan variasi ketinggian jatuh beban dengan 3 tingkat ketinggian jatuh yaitu 25mm, 50mm dan 75mm.

Parameter beban diatur dengan variasi penambahan beban dari beban awal ramnya sebesar 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg. Selanjutnya proses eksperimen akan dilakukan dengan memanfaatkan energi potensial/energi kinetik yang terjadi dari kombinasi beban dan kecepatan yang diberikan. Replika proses dilakukan 3 kali untuk setiap pasangan kombinasi variasi kecepatan dan beban yang diberikan.

D. Eksperimental set-up

Tahapan proses eksperimen untuk menghasilkan miniatur produk adalah sebagai berikut :

1. Letakkan spesimen aluminum yang sudah jadi ke dalam *die*.

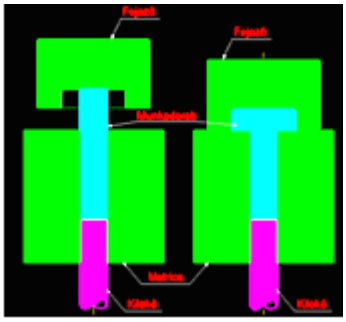


Gambar 3.3 Set up benda kerja ke dalam cetakan

2. Atur ketinggian jatuh *punch*, dengan menekan *lever*, dan agar *punch* tidak langsung jatuh, maka perlu ditahan dengan tuas *handle*. Atur hingga ketinggian antara *punch* dan *die* sebesar 2.5 cm.

Gambar 3.4 Set up beban dan ketinggian jatuh

3. Setelah ketinggian diatur, lepaskan tuas *handle* dan tekan *lever*, sehingga *punch* langsung menghantam spesimen pada *die*.



Gambar 3.5 Proses penempaan

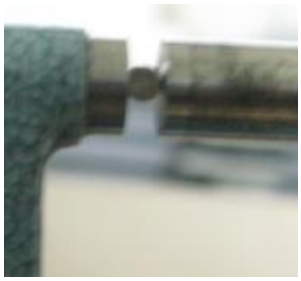
4. Angkat *punch* dengan menggunakan tuas *handle*, sehingga produk dapat diambil.
5. Ambil produk yang sudah jadi dengan menggunakan *ejector*, sehingga dapat dilakukan pengukuran dimensi akhir produk.

(a)

(b)

Gambar 3.6 *Ejektor* (a), produk *upset forging* (b)

6. Lakukan pengujian untuk satu variasi (misalnya pada ketinggian 2,5 cm dan beban 7,5 kg) sebanyak tiga kali dan lakukan penambahan beban dari 1 kg,2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg.
7. Lakukan pengujian dengan variasi ketinggian 5 cm dan 7,5 cm, serta variasi pembebanan dari 7,5 kg hingga 12,5 kg dengan langkah-langkah yang sama seperti di atas.
8. Setelah produk jadi, lakukan pengukuran diameter dan tinggi akhir produk menggunakan alat ukur mikrometer.



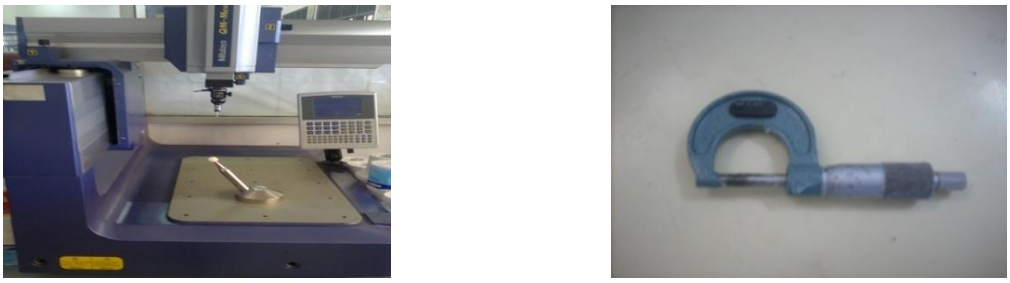
Gambar 3.7 Pengukuran produk dengan mikrometer

9. Catat dan masukkan hasil pengukuran ke dalam data hasil pengujian.

3.1.2 Pengukuran Dimensi Produk dan Cetakan

A. Alat Ukur yang Digunakan

Proses pengukuran dimensi produk dan cetakan menggunakan 2 alat ukur yaitu CMM ketelitian 0,0001 mm dan Mikrometer dengan ketelitian 0,01 mm. Serta menggunakan alat bantu tambahan digital mikroskop.



(a) (b)

Gambar 3.8 *CMM* (a) dan Mikrometer (b).

(a) (b)

Gambar 3.9 USB Digital Microscope VP-EYE 6.0 dengan Perbesaran pertama 10~50X dan perbesaran kedua 195X (a) skema pemakaian (b)

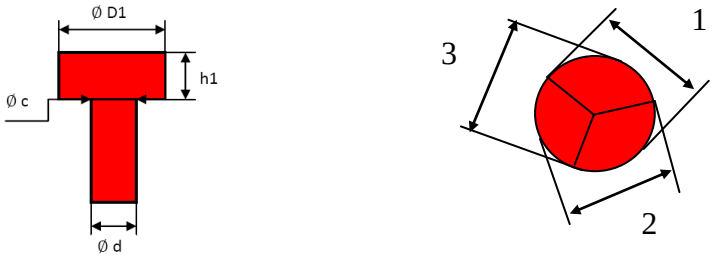
B. Geometri Produk yang Diukur

Proses pengumpulan data hasil eksperimen merupakann tahap yang sangat penting. Teknik pengambilan data dari setiap spesimen serta data dari cetakan baik itu secara metode dan instrumen yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap data yang dihasilkan.

Dalam proses eksperimen pada setiap kondisi yaitu setiap 1 kondisi kecepatan pada beban tertentu, produk di buat dengan replika 3 kali (ada 3 buah produk disetiap kondisi).Sehingga dengan adanya 3 kondisi kecepatan, dan 6 kondisi beban maka akan ada 18 kondisi proses eksperimen yang berarti menghasilkan 18 kondisi eksperimen dikalikan 3 replika produk menjadikan ada 54 sample produk hasil eksperimen.

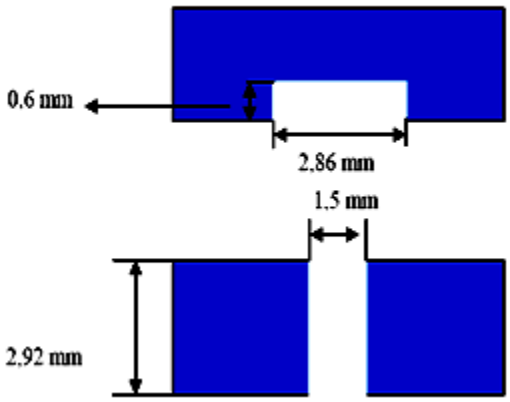
Selanjutnya dalam proses pengambilan data dimensi geometri pada produk, ada 4 titik pengukuran yang dilakukanyaitu pada titik diameter head,tebal head ,diameter leher *head* produk, serta diameter ekor produk. Pada setiap titik dilakukan pengambilan/pengukuran data dengan replika / pengulangan sebanyak 3 kali. Setiap pengulangan pengambilan data pada suatu titik pengukuran, produk/titik pengukuran diputar sekitar 120^{o} agar bisa diambil *sample* yang merata. Sehingga untuk setiap produk diukur dengan 4 parameter dengan replika masing-masing sebanyak 3 kali sehingga total 12 kali pengukuran per produk. Ini berarti untuk setiap satu kondisi beban pada satu kondisi kecepatan dilakukan total 36 kali pengukuran pada 3 buah *sample* produk. Proses pengambilan data dimensi geometri produk dilakukan dengan menggunakan mikrometer dengan ketelitian 0,01 mm, dikarenakan sangat sulit melakukan pengukuran dengan menggunakan CMM.

Sedangkan proses pengambilan data geometri untuk cetakan baik itu cetakan bawah dan cetakan atas bisa dilakukan dengan menggunakan CMM. Pada *top die* ada 5 titik pengukuran yaitu panjang, lebar, tebal, diameter lubang *die*, serta kedalaman lubang *die*. Proses pengambilan data dilakukan replika sebanyak 3 kali, sehingga ada 15 kali pengukuran untuk 5 buah titik. Untuk *bottom die* ada 5 titik pengukuran juga dengan 3 kali replika pengukuran. Kelima titik pengukuran tersebut adalah panjang, lebar, tebal, diameter lubang atas dan diameter lubang bawah.



(a) (b)

Gambar 3.10 Empat buah titik pengambilan data pada produk (a) tiga Posisi pengambilan data pada setiap titik data.



Gambar 3.11 Profil penampang 2D cetakan atas dan cetakan bawah

Dari hasil pengambilan data dikarenakan menggunakan dua buah instrumen alat ukur yang memiliki ketelitian berbeda maka untuk ketelitian hasil pengukuran data, data hasil yang diambil/dikompilasi menggunakan tingkat ketelitian pada alat yang memiliki ketelitian terendah yaitu mikrometer.

3.2 Pengolahan Data Desain dan Eksperimen

Dari data desain awal dan data hasil pengukuran pada produk eksperimen dan cetakan yang sebenarnya yang telah dikompilasi akan diolah untuk dianalisa secara analitik untuk mencari besarnya nilai *upset rasio*, *principle strain*, Volume *head*, diameter awal minimal benda kerja, Gaya *upsetting*, Energi/kerja *upsetting*. Proses analisa menggunakan rumus yang telah dibahas di Bab II Tinjauan Pustaka.

Dari data desain akan dianalisa dengan rumus apakah secara desain telah terjadi kesalahan berkaitan dengan volume minimal material benda kerja, diemeter minimal benda kerja terpenuhi, desain upsetting diijinkan dilakukan dengan proses *single stroke* dan masih aman dari kemungkinan *buckling*, serta dalam desain kebutuhan energi pembentukan, set up desain kecepatan dan beban yang diberikan telah menjamin kebutuhan minimal untuk menjalankan proses deformasi/forming.

Dari data yang diperoleh dari hasil pengukuran juga akan dilakukan analisa yang sama seperti pada data desain. *Output* dari dua pengolahan data ini nantinya akan dibandingkan dimana hal-hal yang menjadi paramater utamanya adalah :

1. Volume cetakan desain *vs* volume cetakan *real*.
2. Diameter minimal benda kerja yang dibutuhkan pada desain *vs* produk dan cetakan *real*.
3. Besarnya gaya *upsetting* yang diperlukan secara desain *vs* gaya *upsetting* yang berlaku pada produk *real*.
4. Besarnya energi/kerja *upsetting* yang diperlukan secara desain *vs* gaya *upsetting* yang berlaku pada produk *real*.
5. Effisiensi energi *upsetting* secara desain *vs* kondisi *real* eksperimen.

Dari analisa perbandingan hasil proses analitik ini akan ada rekomendasi tentang penyebab dimensi *head* tidak mencapai target desain awal berdasarkan referensi literatur.

3.3 Simulasi FEM

Pendekatan FEM akan digunakan sebagai tahap lanjut untuk melengkapi dan mendetailkan hasil yang telah diungkapkan oleh perhitungan dengan rumus sebelumnya. FEM memiliki kelebihan untuk meninjau dan memantau proses simulasi *upsetting* beserta semua kejadian yang mengiringi proses tersebut, dimana hal ini tak dapat dilakukan oleh pendekatan rumus.

3.3.1 Validasi

Proses validasi mutlak dan harus dilakukan untuk memverifikasi kemampuan penulis dalam menggunakan sofware tersebut. Dalam proses validasi,

penulis menggunakan hasil penelitian dari Lee dkk (1972) yang telah melakukan penelitian untuk eksperimen *upsetting* material Al 1100 dengan dimensi diameter 1,25 inchi dan tinggi 2,25 inchi. Dari hasil penelitian Lee dkk, *out put* yang dikeluarkan adalah adanya grafik *flow stress-strain* material tersebut, serta grafik *Load-displacement* untuk *upsetting* 50%.

Dari data Lee untuk validasi, penulis memasukkan parameter *flow stress-strain* dari grafik dan formula yang Lee kemukakan kedalam data plastisitas pada software deform. Profil geometri juga diinputkan didalam software, sedangkan data pelengkap lain, seperti data thermal dan sifat Al 100 yang lain di ambil dari data pada literatur referensi penelitian.

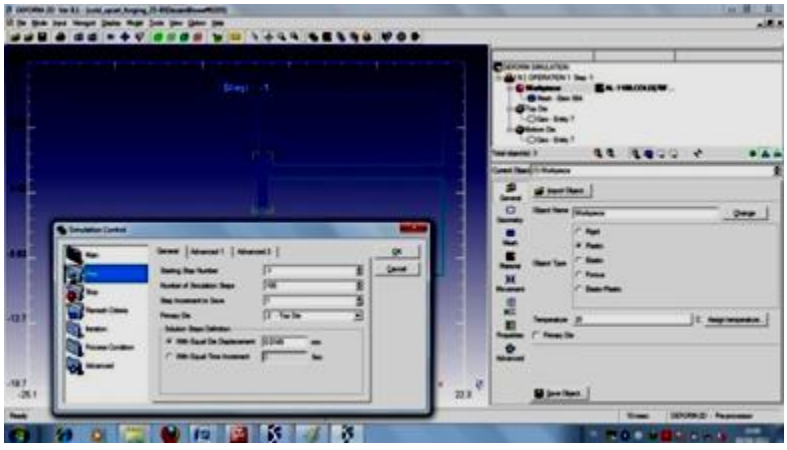
Parameter yang menunjukkan hasil validasi adalah tampilan grafik *Load vs displacement* yang dikeluarkan Lee dkk dengan hasil validasi dengan software. Hasil yang digunakan adalah hasil dengan tingkat *error* yang paling kecil.

3.3.2 Proses Simulasi FEM

Dalam proses simulasi FEM terbagi terbagi menjadi tiga tahap yaitu tahap *pre prosessor*, tahap *simulation*, dan tahap *post prosessor*.

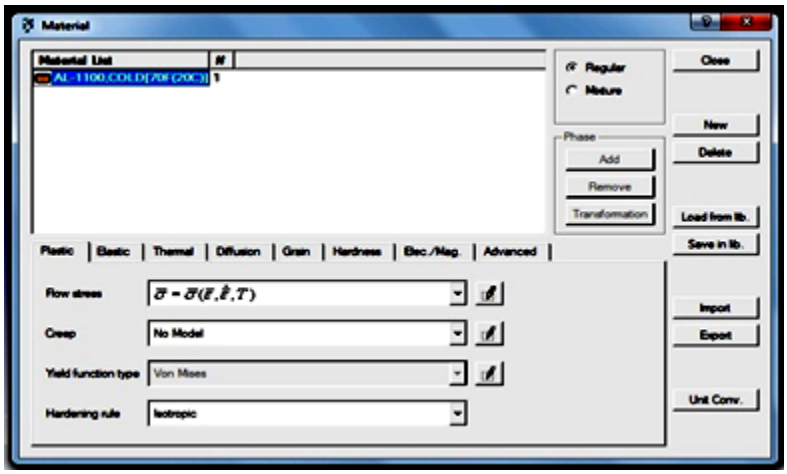
A. Tahap *preprosessor*

Pada tahap ini proses yang dilakukan adalah membuat gambar geometri benda kerja dan cetakan yang bisa dilakukan di dalam deform sendiri atau import dari software CAD yang lain. Pada setiap gambar dilakukan proses meshing, pemasukan jenis material dan spesifikasinya serta untuk *top die* ada tambahan harus di set sebagai *primer die*.



Gambar 3.12 Tampilan layar *preprosessor* Deform 2D v8.1

Selanjutnya masuk ke tahapan *Simulation control* dimana disini dilakukan input data parameter proses seperti panjang *stroke, set up start stop* proses simulasi. Data untuk tahapan *pre prosessor* yang harus diinput secara lengkap.



Gambar 3.13 Tampilan layar *pre prosessor* input data material Deform 2D

Setelah proses pengisian data pada simulation control lengkap maka masuk ke data material seperti pada gambar 3.5. Data-data yang di input seperti tertera pada tabel 3.1 dan 3.2 serta data *flow stress-strain* Al 1100.

Tabel 3.2 Parameter input sebagai variabel proses dalam simulasi Deform

Parameter proses	***Cold Working* [20°C]**
Temperatur lingkungan [°C]	20
Beban [N]	75,85,95,105,115,125
Blow Efficiency	(0,2) ~ (0,5)
Sistem Mesin forging	*Free/gravity Drop-Hammer*
Ketinggian jatuh beban [mm]	25, 50, 75
Pelumasan	Tidak ada
Koefisien gesek	0,12 *(dry – steel die)*
Step Simulasi	100
meshing	*Automatic by deform*
Benda kerja	*Plastis*
Cetakan	*Rigid*
Operasi	*One operation (single- stroke process)*

Tabel 3.3 Parameter input untuk benda kerja dan cetakan

Parameter Benda Kerja	***Cold Working* [20°C]**
Material	Al-1100
Young's modulus [GPa]	69
Poisson's ratio	0,334
Thermal expansion [1/°C]	23,6. 10^{-6}
Thermal conductivity[W/m.K]	180
Heat Capacity[N/mm^2 °C]	2,433
Emissivity	0,05
Diameter [mm]	1,5
Tinggi [mm]	5,06
Temperatur [°C]	20

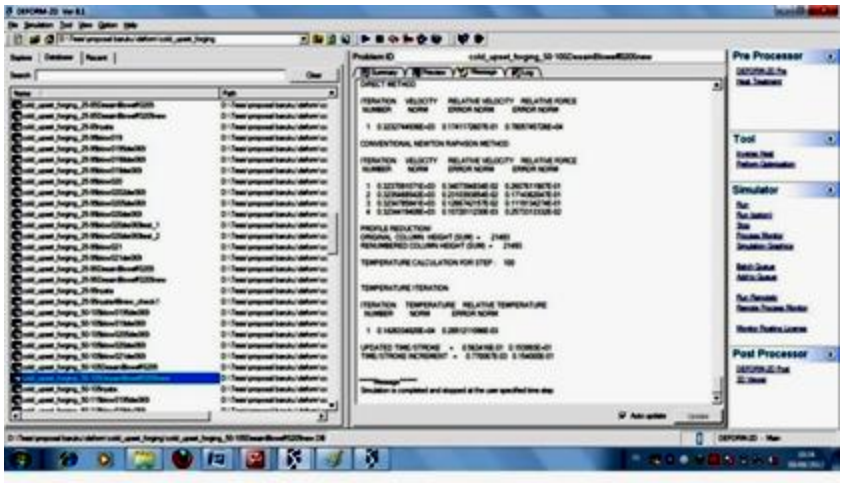
Parameter *Top & Bottom Die*	***Cold Working* [20°C]**
Material	JIS: SKD11, AISI: D2; DIN: 1.2379
Young's modulus [Gpa]	210
Poisson's ratio	0,30
Thermal expansion [1/°C]	10,4. 10^{-6}
Thermal conductivity[W/m.K]	20
Heat Capacity [N/mm^2 °C]	3,542
Emissivity	0,7
Diameter [mm]	2,86 *(top die)* 1,5 *(bottom die)*
Tinggi/kedalaman lubang [mm]	0,6 *(top die)* 2,92 *(bottom die)*
Temperatur [°C]	20

Variasi yang diberikan selama proses *preprosessor* adalah *blow efficiency*, parameter energi pembentukan, perubahan desain geometri.

B. Tahap *simulation*

Sebelum simulasi dijalankan, semua data harus disimpan sebagai *data base* dengan dilakukan pengecekan dahulu. Jika hasil pengecekan masih ada *error* maka data tidak akan bisa disimpan di *data base* sehingga otomatis tidak bisa di jalankan atau di *run*.

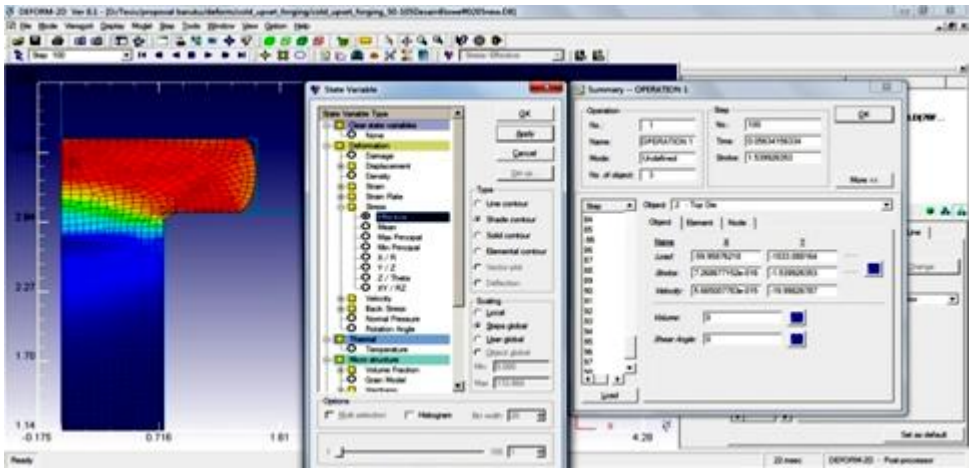
Selama proses simulasi berjalan salah satu kelebihan deform adalah jika selama proses ada permasalahan terkait *meshing* maka secara otomatis deform akan melakukan *remeshing* sendiri agar proses simulasi bisa berlanjut.



Gambar 3.14 Tampilan layar proses *running simulation* Deform 2D

C. Tahap *post prosessor*

Tahap ini berisi tentang hasil-hasil yang didapatkan dari proses simulasi seperti Grafik *Load – stroke/time*, Grafik Energi – *Stroke/ time*, *Stress*, *Strain*, *strain rate*, *damage ratio* serta adanya mistar pengukur untuk mengukur dimensi produk secara otomatis.



Gambar 3.15 Tampilan layar *post prosessor* Deform 2D

Proses simulasi yang dilakukan adalah memvariasikan tingkat energi pembentukan yaitu dengan memvariasikan beban dari 75 N, 85 N, 95 N, 105 N, 115 N dan 125 N pada beberapa kecepatan. Kecepatan yang diberikan berdasarkan set up tinggi jatuh dari hammer yaitu 25 mm, 50 mm, dan 75 mm. Simulasi yang dilakukan meliputi :

1. Simulasi FEM berdasarkan data dimensi benda kerja dan dimensi cetakan real yang terukur selama pengambilan data.
2. Simulasi FEM berdasarkan data dimensi benda kerja dan dimensi cetakan sesuai desain.
3. Simulasi FEM dengan memvariasikan tingkat keausan pada cetakan dari kondisi ideal.

3.4 Pembahasan

Setelah proses simulasi selesai dilakukan maka, data yang diperoleh akan dibandingkan dengan dengan data kalkulasi analitik. Tahapan proses analisanya adalah sebagai berikut :

3.4.1 Analisa hasil perhitungan dengan rumus berdasarkan data dimensi produk dan cetakan pada kondisi desain serta kondisi real-nya.

Dari hasil perhitungan akan dilakukan analisa apakah desain proses telah memenuhi parameter minimal, sehingga dimensi akhir benda kerja bisa tercapai. Secara umum hasil perhitungan besarnya gaya, energi, *upset ratio, principle strain,* dimeter minimal benda kerja digunakan untuk menyimpulkan apakah proses bisa berjalan baik, baik dalam kondisi cetakan masih ideal maupun cetakan sudah dalam kondisi berubah dimensinya sehingga produk yang diharapkan dapat tercapai.

3.4.2 Analisa hasil simulasi FEM berdasarkan data dimensi produk dan cetakan pada kondisi desain serta kondisi real-nya.

Dari data hasil validasi dan *blow efficiency* yang telah didapat, selanjutnya digunakan untuk inputan proses simulasi untuk material benda kerja dan cetakan pada kondisi sesuai desain awal dan real. *Output* dari simulasi yang kedua ini adalah untuk melengkapi, mendetailkan sehingga lebih bisa memperjelas data hasil kalkulasi analitik untuk kondisi desain awal, sehingga bisa diberikan kesimpulan dengan kondisi ideal apakah dengan volume material yang ada, serta kondisi cetakan masih ideal proses deformasi dapat berlangsung secara optimal dan menghasilkan ukuran dimensi geometri *head* yang presisi atau tidak. Jika memang proses bisa berlangsung optimum maka pada titik mana proses

berlangsung optimum, yaitu energi pembentukan yang diberikan cukup untuk proses deformasi.

3.4.3 Analisa pengaruh variasi dimensi cetakan terhadap dimensi produk yang dihasilkan.

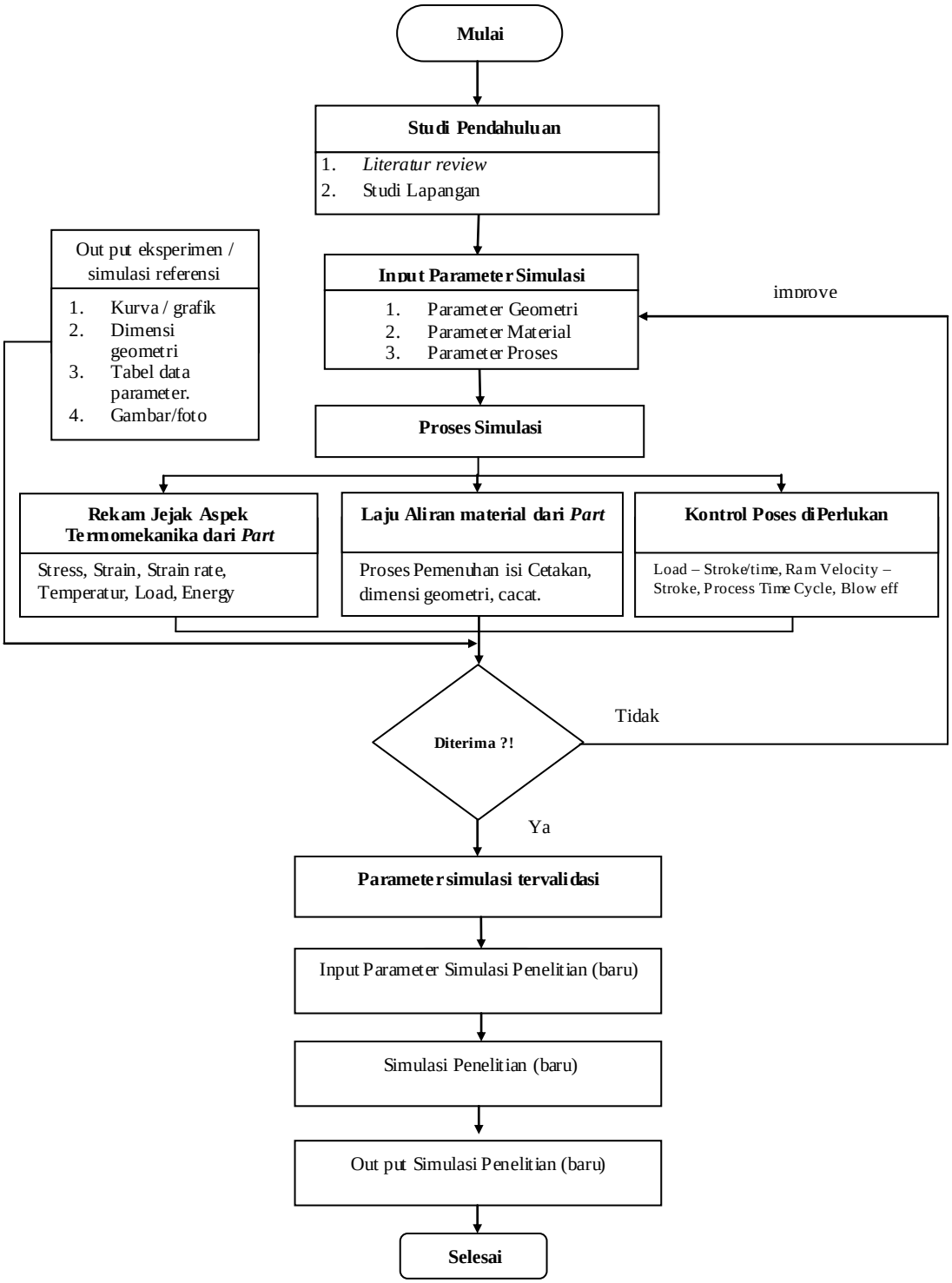
Dari hasil simulasi sebelumnya setelah ditentukan kapasitas *blow efficiency* energi, serta energi minimal untuk proses pembentukan maka, data tersebut bisa digunakan untuk mensimulasikan pengaruh variasi dimensi cetakan dari kondisi ideal sampai kondisi real pada pencapaian dimensi produk akhir

3.4.4 Penyebab cacat dimensi pada produk hasil *cold upset forging*.

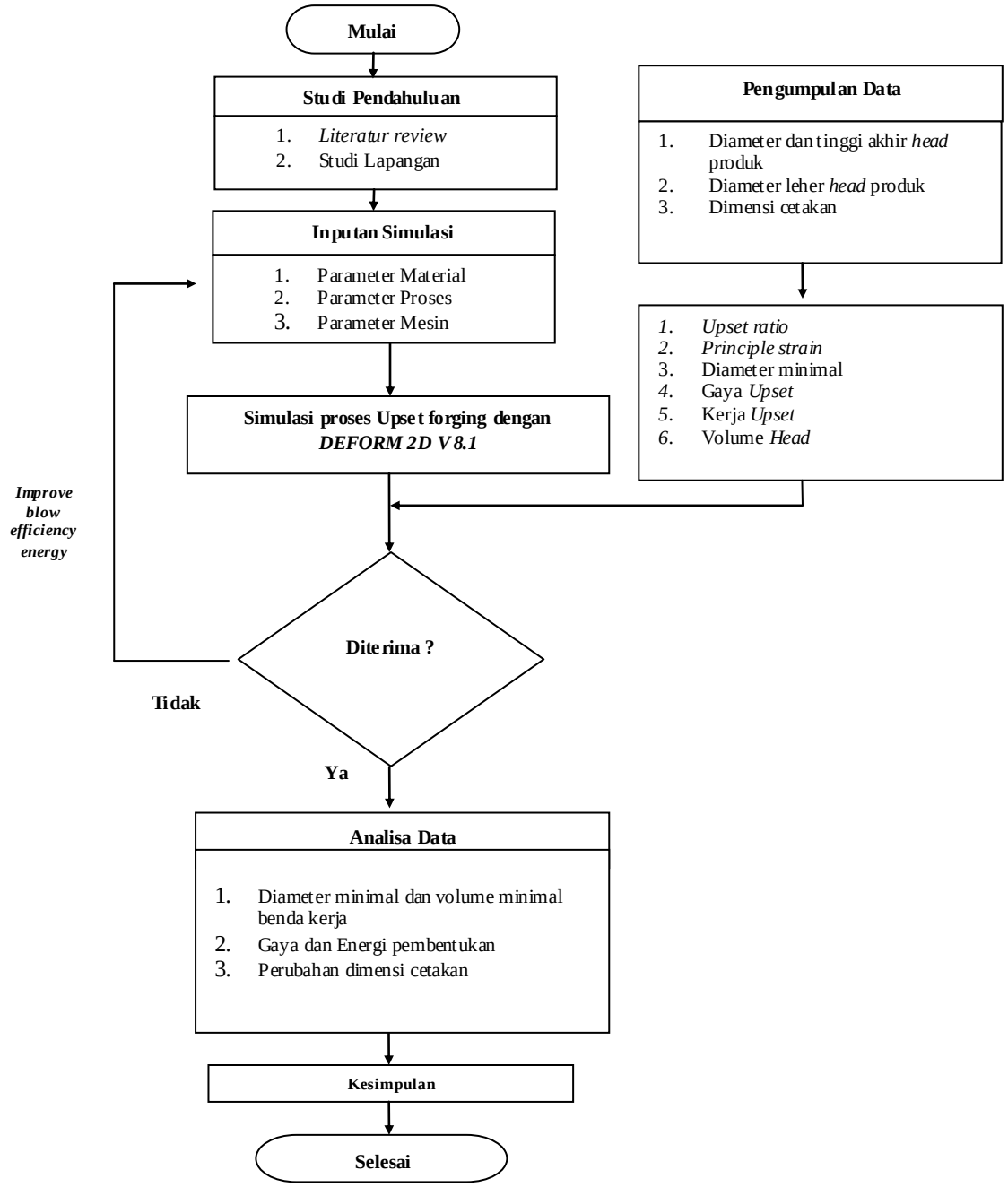
Dari analisa yang telah dilakukan, pada akhirnya akan bisa disimpulkan penyebab utama pencapaian dimensi produk yang tidak optimum berdasarkan hasil hasil perhitungan rumus dan simulasi FEM yang dilakukan.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dalam penelitian ini dapat digambarkan dengan diagram alir proses penelitian seperti terlihat pada Gambar 3.16 dan 3.17.



Gambar 3.16 Skema Pemodelan Simulasi FEM proses Forging (Shen, 2001)



Gambar 3.17 Diagram alir penelitian.