



**PENGARUH KETEBALAN PLAT KUNINGAN TERHADAP
CACAT PRODUK DARI PROSES *DEEP DRAWING***

SKRIPSI

Oleh

Muhammad Arinal Haq

181910101003

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2023



**PENGARUH KETEBALAN PLAT KUNINGAN TERHADAP
CACAT PRODUK DARI PROSES *DEEP DRAWING***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Muhammad Arinal Haq

181910101003

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2023

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur terhadap Allah SWT, Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan kurnia yang tidak pernah berhenti dirasakan oleh penulis dalam setiap detik kehidupan ini.
2. Kedua Orang tua, Kakak dan Adik saya yaitu Ayah saya Solachuddin , Ibu saya almh. Anik Hikmawati, Kakak saya Dita Rahmania dan Adik saya Diana Rahmania yang senantiasa selalu membimbing dan memberikan semangat serta dorongan untuk tetap berkembang sesuai keputusan saya.
3. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa dengan ikhlas memberikan ilmunya dan juga arahan untuk menuju ke arah yang lebih baik. Semoga Bapak/Ibu diberikan keberkahan dan kelancaran rezeki dunia maupun akhirat.
4. Dosen Pembimbing Akademik Bpk Ir. Dwi Djumhariyanto M.T. yang selalu membimbing dan mengarahkan program KRS saya.
5. Dosen Pembimbing Skripsi saya Bpk Dr. Ir.Salahuddin Junus S.T., M.T., IPM. dan Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T. yang selalu memberikan semangat dan memotivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik sesuai harapan.
6. Dosen Penguji saya Bpk Ir.Sumarji, S.T., M.T. dan Bpk Dr. Yuni Hermawan, S.T., M.T. yang selalu mengarahkan dan memberikan saran yang baik dan membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Teman-teman yang mendukung saya untuk mengerjakan skripsi (Slamet, Kikik, Alip, Danu, Yogi, Yayang, Deka, Mas Alfi, Amin, Indra, Ema, Udin, Agit, Revan, Rafid, Aris, Lana, Agung, Rafi, Guzali, Izzaman) dan Dulur-dulur M20 semua.

MOTO

“Ya Rabbku, lapangkanlah untukku dadaku, dan mudahkanlah untukku urusanku,
dan lepaskanlah kekakuan dari lidahku, supaya mereka mengerti perkataanku”
(terjemahan Quran Surat At Thaha ayat 25-28)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Arinal Haq

NIM : 181910101003

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul **“PENGARUH KETEBALAN PLAT KUNINGAN TERHADAP CACAT PRODUK DARI PROSES *DEEP DRAWING*”** adalah benar-benar karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada intitusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas kebebasan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Januari 2023

Yang menyatakan

Muhammad Arinal Haq

NIM 181910101003

SKRIPSI

**PENGARUH KETEBALAN PLAT KUNINGAN TERHADAP
CACAT PRODUK DARI PROSES *DEEP DRAWING***

Oleh

Muhammad Arinal Haq

181910101003



Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T, IPM.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**PENGARUH KETEBALAN PLAT KUNINGAN TERHADAP CACAT PRODUK DARI PROSES *DEEP DRAWING***” karya Muhammad Arinal Haq telah di uji dan disahkan pada :

Hari, Tanggal : Senin, 30 Januari 2023

Tempat : Ruang 1, Lantai 1, Gedung B Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T, IPM.

NIP. 197510062002121002

Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T.

NIP. 197002281997021001

Penguji,

Dosen Penguji I

Dosen Penguji II

Ir. Sumarji, S.T., M.T.

NIP. 196802021997021001

Dr. Yuni Hermawan, S.T., M.T.

NIP. 197506152002121008

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.

NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

PENGARUH KETEBALAN PLAT KUNINGAN TERHADAP CACAT PRODUK DARI PROSES *DEEP DRAWING*; Muhammad Arinal Haq, 181910101003, 53 halaman, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Berkembangnya pengetahuan dan teknologi mendorong terciptanya suatu produk yang baru dengan memiliki kualitas yang baik. Pada industri manufaktur hal ini menjadi masalah yang sangat penting karena dalam proses manufakturnya banyak sekali kendala berupa cacat produk yang harus dipecahkan agar tercipta suatu produk yang bermutu tinggi.

Dalam proses pembuatan anting-anting memerlukan proses *deep drawing* dimana hasil dari proses proses *deep drawing* sering mengalami masalah seperti *cracking, tearing, wrinkle, fracture, dan spring back*. Dalam permasalahan tersebut dapat mempengaruhi dari proses produksi anting-anting. Pada proses *deep drawing* pembuatan anting-anting banyak kegagalan terjadi dalam proses manufakturnya seperti halnya plat sobek, cacat kerut ,adanya gaya *spring back* yang dapat menjadikan *draw piece* tidak sesuai dengan dimensi yang diinginkan.

Tahap pada penelitian diawali dengan menyiapkan plat kuningan C26000 dengan ketebalan 0,06 mm; 0,09 mm; 0,12 mm. Selanjutnya dilakukan pemotongan semua plat kuningan C26000 membentuk persegi dengan ukuran 10 mm x 10 mm sebanyak 100 unit tiap variasi ketebalan. Kemudian dilanjutkan proses *deep drawing* dengan meletakan plat yang sudah dipotong sejajar dengan garis atas dan bawah *die* yang telah disiapkan. Kemudian beri tekanan pada alat press *deep drawing* dengan beban seberat 311,8 N dan tunggu sampai *deep drawing* berhenti bergerak. Setelah *deep drawing* diam, angkat beban dan ambil plat hasil *deep drawing* kemudian kelompokkan sesuai variasi ketebalan. Hasil dari *deep drawing* selanjutnya amati hasil *deep drawing*, kemudian analisa jenis cacat yang timbul ditiap variasi ketebal kuningan C26000, dan ditarik kesimpulan jenis cacat dominan pada setiam variasi.

Persentase jenis cacat *deep drawing* yang timbul paling banyak pada ketebalan 0,06 mm berjumlah 88 cacat dengan lima jenis cacat yaitu *cracking* (32,4%), *tearing* (25,7%), *wrinkling* (22,9%), *fracture* (1,9%), dan *spring back* (17,1%). Sedangkan pada ketebalan 0,09 mm timbul 52 produk cacat *deep drawing* dan timbul sebanyak empat jenis yaitu *cracking* (44,2%), *tearing* (30,8%), *wrinkling* (15,4%), dan *spring back* (9,6%). Untuk ketebalan 0,12 mm dengan 20 cacat produk dan timbul dua jenis cacat yaitu *wrinkling* (80%) dan *spring back* (20%).



SUMMARY

THE EFFECT OF BRASS PLATE THICKNESS ON PRODUCT DEFECTS FROM THE DEEP DRAWING PROCESS; Muhammad Arinal Haq, 181910101003, 53 pages, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The development of knowledge and technology encourages the creation of a new product with good quality. In the manufacturing industry this is a very important problem because in the manufacturing process there are many problems in the form of product defects that must be solved in order to create a high quality product.

The process of making earrings requires a deep drawing process where the results of the deep drawing process often experience problems such as cracking, tearing, wrinkle, fracture, and spring back. In these problems can affect the production process of earrings. In the deep drawing process for making earrings many failures occur in the manufacturing process such as torn plates, wrinkle defects, spring back forces which can make the *draw piece* not match the desired dimensions.

The research phase begins with preparing a C26000 brass plate with a thickness of 0.06 mm; 0.09mm; 0.12mm. Next, cut all the C26000 brass plates to form a square with a size of 10 mm x 10 mm of 100 units for each thickness variation. Then proceed with the deep drawing process by placing the cut plate parallel to the top and bottom lines of the prepared *die*. Then put pressure on the deep drawing press with a load of 311.8 N and wait until the deep drawing stops moving. After the deep drawing is still, lift the load and take the plate from the deep drawing then group it according to thickness variations. The results of the deep drawing then observe the results of the deep drawing, then analyze the types of defects that occur in each variation of C26000 brass thickness, and draw conclusions about the dominant type of defects in each variation.

The most common percentage of deep drawing defects with a thickness of 0.06 mm was 88 defects with five types of defects namely cracking (32.4%),

tearing (25.7%), wrinkling (22.9), fracture (1, 9%), and springback (17.1%). Meanwhile, at a thickness of 0.09 mm, 52 deep drawing defects occurred and four types occurred, namely cracking (44.2%), tearing (30.8%), wrinkling (15.4%), and springback (9.6%).). For a thickness of 0.12 mm with 20 product defects and two types of defects arise, namely wrinkling (80%) and springback (20%).



PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Ketebalan Plat Kuningan Terhadap Cacat Produk dari Proses *Deep Drawing* ” yang disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jember. Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan kurnia yang tidak pernah berhenti dirasakan oleh penulis dalam setiap detik kehidupan ini.
2. Kedua Orang tua, Kakak dan Adik saya yaitu Ayah saya Solachuddin , Ibu saya almh. Anik Hikmawati, Kakak saya Dita Rahmania dan Adik saya Diana Rahmania yang senantiasa selalu membimbing dan memberikan semangat serta dorongan untuk tetap berkembang sesuai keputusan saya.
3. Semua Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa dengan ikhlas memberikan ilmunya dan juga arahan untuk menuju ke arah yang lebih baik. Semoga Bapak/Ibu diberikan keberkahan dan kelancaran rezeki dunia maupun akhirat.
4. Dosen Pembimbing Akademik Bpk Ir. Dwi Djumhariyanto M.T. yang selalu membimbing dan mengarahkan program KRS saya.
5. Dosen Pembimbing Skripsi saya Bpk Dr. Ir.Salahuddin Junus S.T., M.T., IPM. dan Ir. Santoso Mulyadi S.T., M.T. yang selalu memberikan semangat dan memotivasi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik sesuai harapan.
6. Dosen Penguji saya Bpk Ir.Sumarji, S.T., M.T. dan Bpk Dr. Yuni Hermawan, S.T., M.T. yang selalu mengarahkan dan memberikan saran yang baik dan membangun sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Teman-teman yang mendukung saya untuk mengerjakan skripsi (Slamet, Kikik, Alip, Danu, Yogi, Yayang, Deka, Mas Alfi, Amin, Indra, Ema,

Udin, Agit, Revan, Rafid, Aris, Lana, Agung, Rafi, Guzali, Izzaman) dan
Dulur-dulur M20 semua



DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN	ii
MOTO	iii
PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Metal Forming	4
2.2 Kuningan	7
2.2.1 Kuningan C26000	8
2.2.2 <i>Deep Drawing</i> pada Kuningan.....	9
2.2.3 Perhiasan Kuningan	10
2.3 Deep Drawing Press	10
2.4 Deep Drawing	13
2.4.1 Proses <i>Deep Drawing</i>	14
2.4.2 Jenis <i>Deep Drawing</i>	16
2.5 Cacat Deep Drawing	18
2.5.1 <i>Cracking</i>	19

2.5.2	Tearing	19
2.5.3	Wrinkle.....	20
2.5.4	<i>Fracture</i>	21
2.5.5	<i>Earing</i>	22
2.5.6	<i>Spingback</i>	22
2.6	<i>Six Sigma</i>	23
2.6.1	Konsep <i>six sigma</i>	24
2.6.2	DMAIC	24
BAB 3.	METODE PENELITIAN	26
3.1	Metode Penelitian	26
3.2	Waktu dan Tempat	26
3.3	Alat dan Bahan	26
3.3.1	Alat.....	27
3.3.2	Bahan.....	30
3.4	Oprasional Variabel Penelitian	31
3.4.1	Variabel Bebas	31
3.4.2	Variabel Kontrol.....	31
3.4.3	Variabel Terikat	31
3.5	Metode Pengumpulan Data	31
3.6	Metode Analisis	32
3.7	Diagram Alir Penelitian	34
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1	Jenis Cacat yang Timbul dari Proses Deep Drawing	35
4.1.1	Hasil Proses Deep Drawing	35
4.1.2	Jenis Cacat Hasil Proses Deep Drawing	36
4.2	Pengolahan Data Persentase Jenis Cacat	37
4.2.1	Define	38
4.2.2	Measure	40
4.2.3	Analyze	41
4.2.4	Improve	45
BAB 5.	PENUTUP	48

5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	53

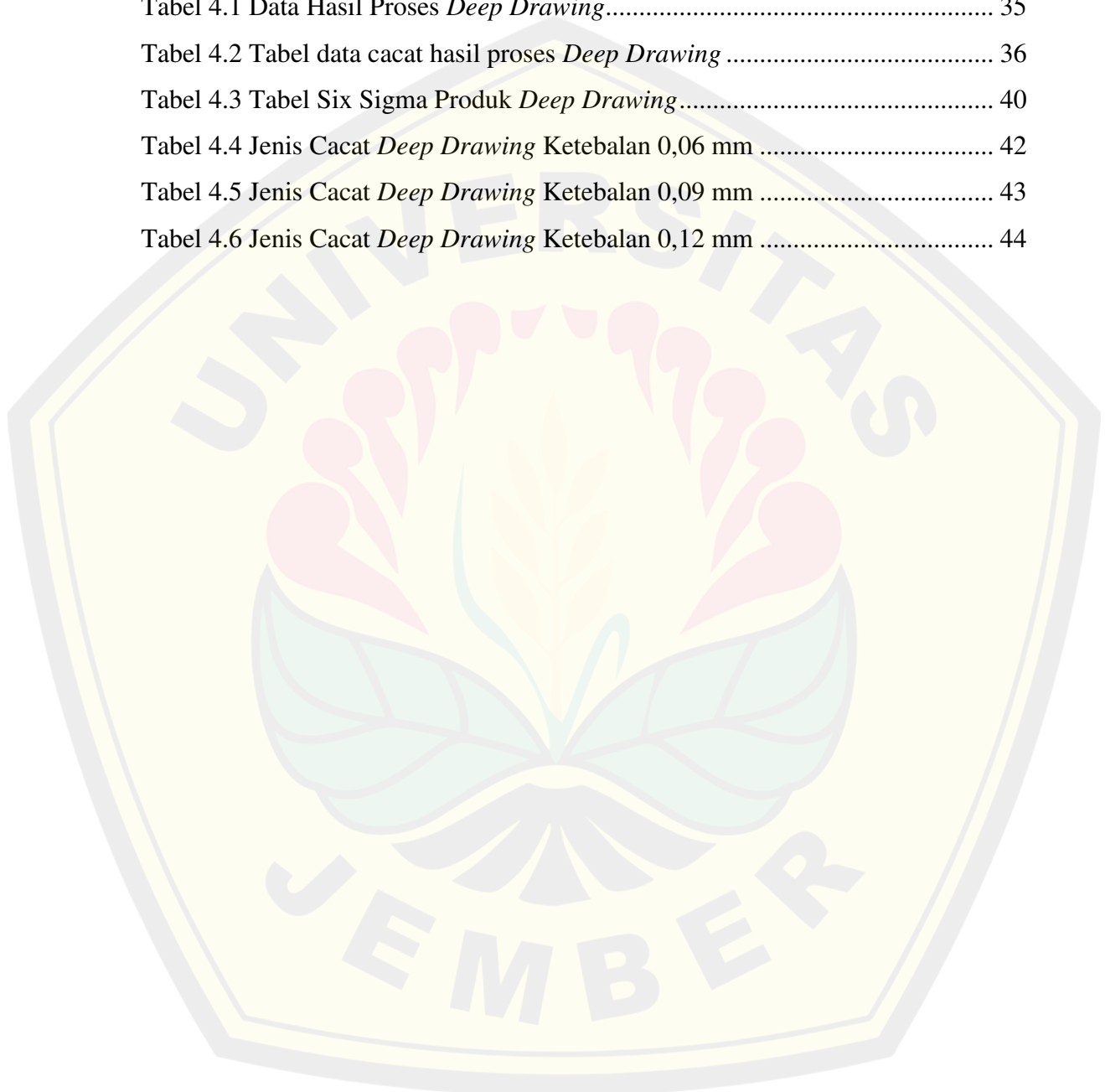


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram fasa Cu-Zn. (Tata Surdia, 1999).....	7
Gambar 2.2 Jenis <i>draw piece</i> (D. Eugene Ostegaard, 1967)	11
Gambar 2.3 Bagaian utama <i>deep drawing</i> (R. Hosseini, 2012).....	12
Gambar 2.4 Proses <i>deep drawing</i> (D. Eugene Ostegaard, 1967).....	15
Gambar 3.1 <i>Deep drawing press</i>	27
Gambar 3.2 (a) <i>die</i> , (b) <i>Punch</i>	28
Gambar 3.3 Kamera Digunakan untuk Penelitian.	28
Gambar 3.4 Mikrometer.....	29
Gambar 3.5 Jangka Sorong	29
Gambar 3.6 Gunting kertas	30
Gambar 3.7 Plat Kuningan C26000	30
Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian.	34
Gambar 4.1 Grafik Jenis Cacat <i>Deep Drawing</i>	37
Gambar 4.2 Diagram Pareto Cacat <i>Deep Drawing</i> Ketebalan 0,06 mm	42
Gambar 4.3 Diagram Pareto Cacat <i>Deep Drawing</i> Ketebalan 0,09 mm	43
Gambar 4.4 Diagram Pareto Cacat <i>Deep Drawing</i> Ketebalan 0,12 mm	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Paduan tembaga utama tempaan.....	7
Tabel 2.2 Hasil uji tarik material brass dengan ketebalan 300 μm	9
Tabel 3.1 Tahapan perhitungan tingkat sigma dan DPMO.....	33
Tabel 4.1 Data Hasil Proses <i>Deep Drawing</i>	35
Tabel 4.2 Tabel data cacat hasil proses <i>Deep Drawing</i>	36
Tabel 4.3 Tabel Six Sigma Produk <i>Deep Drawing</i>	40
Tabel 4.4 Jenis Cacat <i>Deep Drawing</i> Ketebalan 0,06 mm	42
Tabel 4.5 Jenis Cacat <i>Deep Drawing</i> Ketebalan 0,09 mm	43
Tabel 4.6 Jenis Cacat <i>Deep Drawing</i> Ketebalan 0,12 mm	44



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkembangnya pengetahuan dan teknologi mendorong terciptanya suatu produk yang baru dengan memiliki kualitas yang baik. Pada industri manufaktur hal ini menjadi masalah yang sangat penting karena dalam proses manufakturnya banyak sekali kendala berupa cacat produk yang harus dipecahkan agar tercipta suatu produk yang bermutu tinggi.

Sheet metal forming adalah sebuah proses yang bertujuan agar pelat atau material mengalami deformasi plastis sehingga terbentuk komponen dari desain yang diinginkan. Penggunaan *sheet metal forming* menjadi teknik pembentukan yang efektif karena dapat menggantikan proses permesinan dan pengelasan. Komponen yang dihasilkan *sheet metal forming* dari bentuk yang sangat sederhana sampai bentuk-bentuk rumit dan kecil seperti yang diperlukan industri elektronik dan menghasilkan komponen besar seperti bodi mobil pada industri otomotif.

Pada proses *metal forming* dikenal istilah *deep drawing*. Pada proses *deep drawing*, gaya diberikan untuk menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam yang disebut dengan *blank* dan dijepit di antara *blank holder* dan *die*. Sehingga terjadi peregangan mengikuti bentuk *dies*, bentuk akhir ditentukan oleh *punch* sebagai penekan dan *die* sebagai penahan benda kerja saat ditekan oleh *punch*. (Ahmad Hasnan.S,2006)

Pada proses *deep drawing* sering terjadi kecacatan yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain; faktor mesin *press*, *die*, serta material yang digunakan, cacat yang mungkin terjadi pada proses *deep drawing* bermacam-macam. seperti retak (*cracking*), sobek (*tearing*), kerutan (*wrinkle*), patah (*fracture*), *earing* dan (*spring back*) kembalinya pelat ke posisi semula karena sifat elastisitas.

Dalam proses pembuatan anting-anting memerlukan proses *deep drawing* dimana hasil dari proses proses *deep drawing* sering mengalami masalah seperti

cracking, tearing, wrinkle, fracture, dan spring back. Dalam permasalahan tersebut dapat mempengaruhi dari proses produksi anting-anting.

Pada proses *deep drawing* pembuatan anting-anting banyak kegagalan terjadi dalam proses manufakturnya seperti halnya plat sobek, cacat kerut, adanya gaya *spring back* yang dapat menjadikan *draw piece* tidak sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian lebih mendalam tentang permasalahan ini dan penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh ketebalan plat kuningan terhadap cacat produk dari proses *deep drawing*. Dimana dengan mengetahui resiko jenis cacat yang dihasilkan disetiap ketebalan yang divariasikan dapat mengatasi permasalahan kegagalan yang terjadi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ketebalan plat kuningan C26000 dengan variasi ketebalan 0,06 mm; 0,09 mm; 0,12 mm terhadap jenis cacat produk dari proses *deep drawing*?
2. Bagaimana pengaruh ketebalan plat kuningan C26000 dengan variasi ketebalan 0,06 mm; 0,09 mm; 0,12 mm terhadap presentase jenis cacat produk dari masing-masing ketebalan dalam proses *deep drawing*?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh ketebalan plat kuningan C26000 dengan variasi ketebalan 0,06 mm; 0,09 mm; 0,12 mm terhadap jenis cacat produk dari proses *deep drawing*;
2. Mengetahui pengaruh ketebalan plat kuningan C26000 dengan variasi ketebalan 0,06 mm; 0,09 mm; 0,12 mm terhadap presentase jenis cacat masing-masing ketebalan produk dari proses *deep drawing*;

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan pengetahuan tentang pengaruh ketebalan plat kuningan terhadap cacat hasil dari proses *deep drawing*;
2. Sebagai acuan penelitian selanjutnya mengenai pengaruh ketebalan plat kuningan terhadap cacat hasil dari proses *deep drawing* dan pengetahuan tentang jenis-jenis cacat yang muncul disetiap ketebalan plat kuningan yang berbeda;

1.5 Batasan Masalah

Agar tidak meluasnya permasalahan yang akan dibahas maka perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah dalam penulisan laporan ini adalah beagai berikut:

1. Tidak meneliti bahan kuningan C26000;
2. Penelitian difokuskan pada pengeruh ketebalan plat terhadap cacat *deep drwaing*;
3. Bentuk *die* dan *punch* dibuat sama, yaitu bentuk stoberi aksesoris anting-anting;
4. Gaya untuk menekan plat diberikan dengan gaya 311,8 N;
5. Penelitian terbatas pada tahap *Define* (D), *Measure* (M), *Analyze* (A), sampai dengan tahap *Improve* (I)

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Metal Forming*

Pembentukan logam meliputi proses bulk forming seperti penempaan, ekstrusi, rolling, dan drawing dan proses sheet forming seperti: sebagai brake forming, deep drawing, dan stretch forming. Di antara kelompok manufaktur proses yang dibahas sebelumnya, perwakilan pembentukan logam melihat sekelompok proses yang sangat signifikan untuk memproduksi komponen industri, militer, dan barang konsumsi.

Secara umum untuk mengklasifikasikan pembentukan logam proses adalah untuk mempertimbangkan proses pengerjaan dingin (sebelum suhu kristalisasi) dan proses pengerjaan panas (melibatkan deformasi pada suhu di atas suhu rekristalisasi). Sebagian besar bahan berperilaku berbeda di bawah suhu yang berbeda kondisi. Biasanya, tegangan luluh logam meningkat dengan meningkatnya regangan (atau deformasi) selama pembentukan dingin dan dengan meningkatnya laju regangan (atau laju deformasi) selama *hot forming*.

Geometri kompleks, baik dalam proses *bulk forming* maupun pembentukan lembaran, dapat diperoleh dengan baik dengan pembentukan panas atau dingin. Tentu saja, karena kekuatan luluh yang lebih rendah dari material yang mengalami deformasi pada suhu tinggi, tegangan pahat dan beban mesin, dalam arti relatif, lebih rendah dalam pembentukan panas daripada dalam pembentukan dingin. Namun, akurasi bagian biasanya lebih tinggi dalam *cold-formed pans*.

Pembentukan sangat menarik dalam kasus di mana geometri bagian memiliki kompleksitas sedang dan volume produksi besar, sehingga biaya perkakas per unit produk dapat dijaga tetap rendah. dalam aplikasi otomotif atau alat dan sifat bagian dan integritas metalurgi sangat penting. dalam contoh-contoh seperti pesawat pengangkut beban dan mesin jet dan komponen turbin.

Desain, analisis, dan optimalisasi proses pembentukan memerlukan pengetahuan analitis tentang aliran logam tegangan dan perpindahan panas serta informasi teknologi yang berkaitan dengan pelumasan, teknik pemanasan dan

pendinginan, penanganan material, desain dan pembuatan *die*, dan peralatan pembentukan (T. Altan dan A.E. Tekkaya, 2012).

Proses pembentukan logam dapat diklasifikasikan menjadi dua berdasarkan prosesnya yaitu proses *Bulk deformation process* dan *Sheet metal process*. Setiap kategori memiliki beberapa jenis pembentukan logam dengan proses dan hasil yang lebih spesifik untuk berbagai macam kebutuhan tertentu (T. Altan dan A.E. Tekkaya, 2012).

a. *Bulk deformation process*

Bulk deformation process adalah proses pembentukan logam yang menghasilkan perubahan bentuk secara besar-besaran. Area permukaan terhadap volume kerja yang relatif kecil. Umumnya proses ini dilakukan dalam kondisi pekerjaan panas (*hot working*). Berikut ini merupakan teknik pembentukan logam dalam proses bulk deformation.

1) *Rolling*

Dalam proses *rolling*, benda kerja berupa *slab* atau plat dikompres menjadi dua gulungan (*rolls*) yang berputar ke arah benda kerja tersebut, sehingga ketebalannya berkurang. Gulungan yang berputar akan menekan lempengan benda kerja dengan Produk akhir berupa lembaran.

2) Penempaan (*Forging*)

Dalam proses penempaan, benda kerja dikompresi di antara dua cetakan yang berlawanan, sehingga bentuk cetakan (*die*) mengubah bentuk benda kerja. Proses Penempaan umumnya dilakukan dalam pengerjaan panas (*hot working*), tetapi terdapat beberapa jenis proses penempaan tertentu dilakukan dalam proses pengerjaan dingin (*cold working*).

3) Ekstrusi (*Extrusion*)

Esktrusi adalah proses kompresi atau penekanan di mana logam kerja dipaksa mengalir melalui celah pada cetakan, sehingga menghasilkan kontur seperti bentuk cetakan atau *die* pada ujung benda kerja. Aluminium, tembaga, kuningan, baja dan plastik adalah contoh bahan yang paling banyak diproses

dengan ekstrusi. Contoh barang dari baja yang dibuat dengan proses ekstrusi adalah rel kereta api.

4) *Wire* atau *Rod Drawing*

proses pembentukan *drawing* hampir serupa dengan proses ekstrusi, namun dalam proses pembentukan ini, diameter kawat atau batang benda kerja dikurangi dengan menariknya melalui lubang cetakan.

b. *Sheet Metal Forming*

Proses pengerjaan lembaran logam atau *sheet metal forming* adalah proses membentuk dan memotong benda kerja yang dilakukan pada lembaran logam, strip, dan gulungan. Proses *sheet metal* umumnya dilakukan sebagai proses pengerjaan dingin hingga sedang dan biasanya dilakukan dengan menggunakan alat penekan atau pemukul (*punch*) dan cetakan (*die*). Berikut ini merupakan jenis-jenis pembentukan logam dalam *metal sheet*.

1) *Bending*

Dalam proses *bending*, bahan lembaran diregangkan dengan untuk memberikan bentuk lengkung (bentuk sudut) biasanya dalam sumbu lurus.

2) *Deep Drawing*

Dalam proses *deep drawing*, pembentukan lembaran logam dibentuk menjadi cekungan, proses ini dilakukan dengan cara meregangkan logam pada beberapa area. Penjepit digunakan digunakan untuk menjepitkan lembaran pada cetakan, sementara penekan akan mendorong ke dalam lembaran logam. Sehingga lembaran logam tersebut ditarik masuk pada lubang pada rongga cetakan (*die*).

3) *Shearing*

Shearing merupakan proses melibatkan pemotongan daripada proses pembentukan. Proses *shearing* menggunakan alat pemotong (*punch*) dan cetakan (*die*). Walaupun bukan termasuk proses pembentukan, namun dalam proses *shearing* merupakan proses yang sangat umum digunakan dalam pengerjaan logam lembaran.

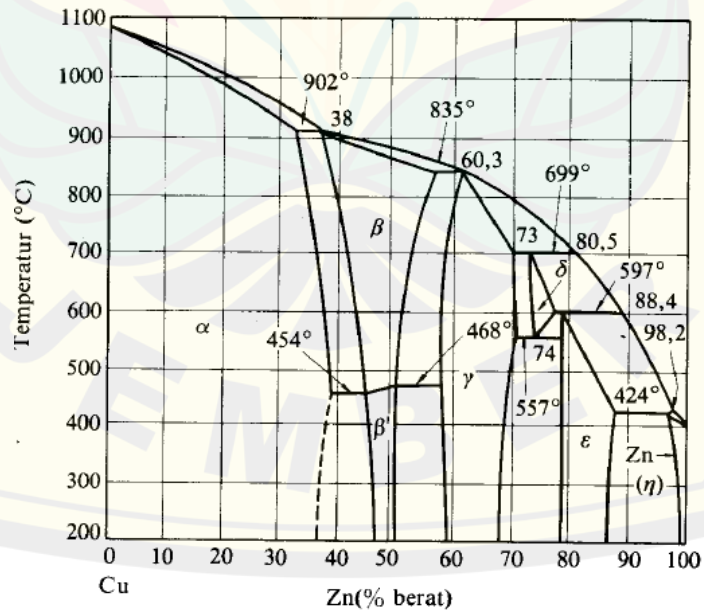
2.2 Kuningan

Kuningan berasal dari zaman Romawi, Gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa Cu-Zn. Dalam sistem ini terdapat 6 fasa yaitu α , β , γ , δ , ϵ dan η , dari semua fasa itu yang penting secara industri adalah dua yaitu α dan β . α mempunyai struktur *fcc* dan β mempunyai struktur *bcc*. Adajuga fasa β' dengan kisi super. Seperti telah diketahui. (Tata Surdia, 1999)

Tabel 2.1 Paduan tembaga utama tempaan.

Paduan	Komposisi kimia utama (%)	Sifat-sifat mekanik setelah penganilan			Penggunaan
		Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	
Kuningan 70-30	70Cu-30Zn	32,6	11,5	60	Emas tiruan, penarikan dalam Pemrosesan logam tipis Sekrup, baud
Kuningan 60-40	60Cu-40Zn	37,8	12,0	45	
Kuningan pemotongan bebas.	61,5Cu-35,5Zn-3,0Pb	34,3	12,6	53	
Kuningan admiralty	71,0Cu-28,0Zn-1,0Sn	32,5	9,4	65	Kondensor, kuningan kapal dengan seng tinggi untuk komponen kapal.
Brons fosfor	94,8Cu-5,0Sn-0,25P	35,0	14,0	58	Roda gigi, pegas
Brons Mangan	58,5Cu-39,2Zn-1,0Sn-1,0Fe-0,3Mn	45,5	21,0	35	Poros baling-baling kapal
Brons Aluminium	95,0Cu-5,0Al	38,6	15,4	65	Untuk industri kimia, bahan tahan korosi.
Perak German	65,0Cu-17,0Zn-18,0Ni	40,7	17,5	40	Untuk penarikan dalam, perhiasan, pengukur
Cupronickel	70,0Cu-30,0Ni	40,0	17,5	45	Tembaga putih, pipa tahan korosi
Brons Berilium	98,0Cu-2,0Be	48,5	24,6	35	Paduan penuaan, pegas

Sumber: Tata Sudira (1999)



Gambar 2. 1 Diagram fasa Cu-Zn. (Tata Surdia, 1999)

Dari diagram fasa untuk kuningan 70-30, fasa α merupakan fasa lunak dan mudah dikerjakan, sedangkan kuningan 60-40, adalah fasa $\alpha+\beta$ yang mempunyai kekuatan tinggi dan, banyak paduan dari ini yang mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Paduan dengan kira-kira 45%Zn mempunyai kekuatan yang paling tinggi akan tetapi tidak dapat dikerjakan, jadi hanya digunakan untuk paduan coran (Tata Surdia, 1999).

Kuningan kartrid, karena keuletan dan kemampuan bentuk yang tinggi, digunakan untuk pengembangan berbagai komponen amunisi, aksesoris pipa, pengencang, kerucut radiator, dll. cakram kuningan umumnya diperlukan untuk pembuatan komponen amunisi yang berbeda (KhurramYaqoob, 2022).

2.2.1 Kuningan C26000

Menurut (Setiawan, 2013) paduan CuZn dengan kandungan 70% dan 30% merupakan fasa yang mudah dikerjakan. Fasa α yang lunak dan mudah dikerjakan, dimana fasa terdiri dari fasa α saja bukan pada temperatur biasa tetapi juga pada temperatur tinggi sehingga pelunakan untuk menguraikan struktur coran mempunyai pengaruh tertentu tetapi pengerasan bisa terjadi pada perubahan sifat-sifat yang terkandung dalam paduan itu sendiri. Sedangkan kuningan 60% dan 40% merupakan fasa $\alpha + \beta$ yang mempunyai kekuatan tinggi dan banyak paduan dari ini yang mempunyai kekuatan tarik yang tinggi. Paduan kuningan yang memiliki komposisi 70% Cu dan 30% Zn atau 70Cu-30Zn disebut Cartridge Brass (Feng & Clark, 1994). Cartridge brass di dunia industri dikenal dengan UNS Number C26000. Berdasarkan Penelitian oleh Hill McGraw pada tahun 1993, kandungan Zn 30% memiliki nilai kekuatan yang tinggi serta keuletan yang maksimum. Cartridge Brass biasa digunakan sebagai bahan baku komponen perhiasan, amunisi, aksesoris saluran air, inti radiator dan tangki.

Dalam penelitian (R. Diwihagso, 2020) Uji tarik material Brass 70/30 dilakukan untuk untuk mendapatkan mechanical properties, antara lain nilai UTS (*Ultimate Tensile Strength*) material yang akan dilakukan proses drawing. Nilai pengujian tarik ini akan digunakan untuk perhitungan menentukan tegangan maksimum yang dibutuhkan pada proses *drawing*. Selain itu untuk mendapatkan nilai

regangan yang terjadi akibat uji tarik untuk menentukan kedalaman drawing maksimum. Dari pengujian diagram uji tarik didapatkan hasil seperti pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Hasil uji tarik material brass dengan ketebalan 300 μm

No	Kode	Teg. Luluh σ_y (MPa)	Teg. Max σ_u (MPa)	Regangan ϵ (%)
1.	T0.3-1	224,90	408,11	34,52
2.	T0.3-2	230,42	409,64	38,28
3.	T0.3-3	226,36	391,96	29,12
	Rerata	227,22	403,23	33,97

Sumber: R. Diwihagso, 2020

2.2.2 *Deep Drawing* pada Kuningan

Dalam Penelitian (R. Diwihagso, 2020) bertujuan untuk membuat cup dari material brass untuk dianalisis kedalaman cup dan cacat akibat di pengaruh besarnya tekanan dan kecepatan punch dalam proses *micro deep drawing*. Studi eksperimental ini meliputi tahap persiapan material *brass* C26000 yang berupa lembaran dipotong menjadi strip untuk dibuat *blank*, pembuatan specimen untuk *tensile test* dan *mikrostruktur*, membuat desain *punch* dan *die* untuk di manufaktur, eksperimen proses *micro deep drawing* dari *blank* menjadi bentuk *cup* dan analisis cacat, data kedalaman cup, prosentase penipisan dinding cup dari hasil eksperimental. Dalam studi ini telah dilakukan ekperimental dengan variasi tekanan kompresor angin sebesar 2, 4, 6 Bar dan kecepatan *drawing* sebesar 20 mm/s, 40 mm/s, 60 mm/s. Kesimpulan studi eksperimental ini adalah proses *micro deep drawing* telah dilakukan telah menghasilkan *cup* dengan kedalaman optimum pada tekanan 2 bar dengan kecepatan 40 mm/s didapatkan $H_l = 2,595$ mm dan $H_s = 2,265$ mm. Hasil tersebut merupakan hasil terbaik karena tidak terdapat cacat pada sisi dinding maupun bawah *cup*.

Menurut jurnal yang ditulis (Miroslav Polášek, 2021). Dalam proses produksi amunisi kaliber kecil, kualitas pengaturan teknologi *deep drawing* kuningan CuZn30 dan rekristalisasi berikutnya adalah penting. Kualitas pengaturan proses teknologi ini juga sangat penting untuk kualitas akhir seluruh amunisi, karena wadah kartrid, atau bahkan proyektil, dihasilkan oleh teknologi

deep drawing. Dalam teknologi *deep drawing* dalam pembuatan kotak kartrid, ketika kuningan CuZn30 sudah mencapai nilai yang diperlukan untuk rekristalisasi, struktur kuningan mengubah ukuran butir struktur. Dan pada saat yang sama, menyulitkan untuk mencapai ukuran butir yang seragam di seluruh penampang kotak kartrid setelah rekristalisasi atau setelah beberapa langkah proses teknologi.

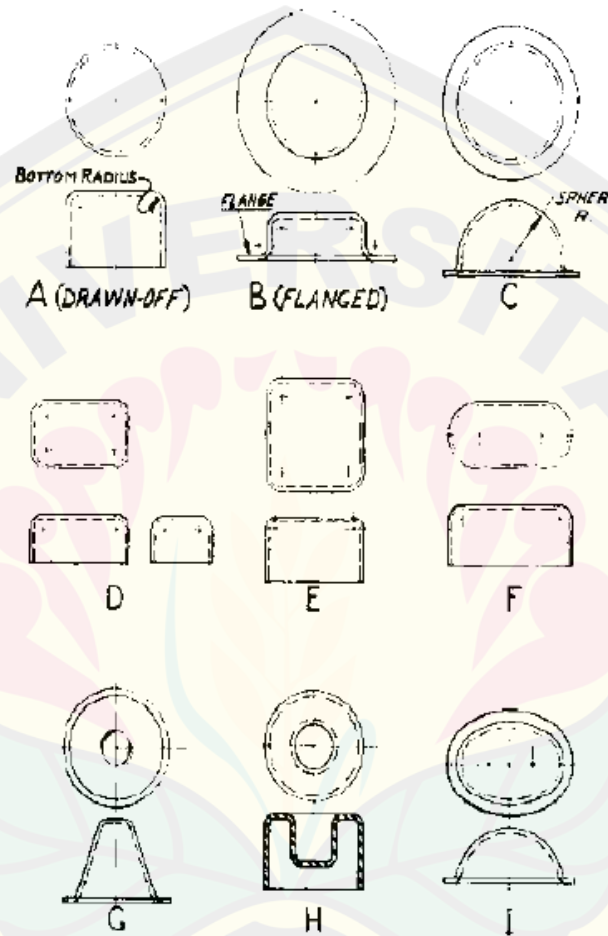
2.2.3 Perhiasan Kuningan

Menurut jurnal yang ditulis (Rahmita, 2022) Perhiasan merupakan bagian dari fashion yang berdampak pada penampilan dan perasaan pengguna untuk menonjolkan kepribadian seseorang untuk membuat mereka merasa istimewa, bergaya, dan cantik. Adapun dalam perhiasan pengantin memiliki aspek lain yaitu simbol, identitas daerah, atau hal lain yang bersinggungan dengan adat istiadat. Perhiasan yang sering digunakan pada pernikahan biasanya berupa set perhiasan tradisional seperti mahkota adat, subeng, hingga hiasan rambut dengan gaya klasik. Tetapi dengan adanya pengaruh dari luar seperti karakteristik dari pengguna, nilai budaya pada perhiasan pengantin mulai bergeser. Misalnya penggunaan perhiasan mahkota adat, tetapi dengan gaya dan motif hias baru yang lebih modern. Selain itu perhiasan dalam bentuk set mulai di kurangi dengan menyesuaikan kebutuhan pengantin tanpa melihat simbol dan nilai makna budaya pada objeknya. Material yang digunakan pada perancangan ini adalah material logam kuningan, karena sering dipakai oleh industri perhiasan, selain itu cukup lunak dan harga lebih ramah, juga bisa mewakili karakteristik material emas. Material tambahan seperti mutiara air tawar krem dan berlian (imitasi) ditambahkan sebagai elemen hias dan pelengkap dari perhiasan. Material berlian-cangkang terpilih dengan pertimbangan visual dengan karakteristik pantulan cahaya atau kilauan dari berbahan kaca ini seperti perhiasan aslinya.

2.3 Deep Drawing Press

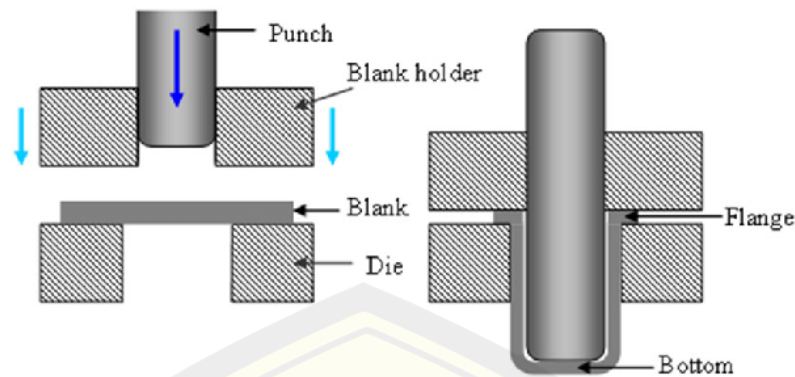
Proses *deep drawing* mempunyai karakteristik khusus dibandingkan dengan proses pembentukan logam lain, yaitu pada umumnya produk yang dihasilkan memiliki bentuk tabung yang mempunyai ketinggian tertentu, sehingga *die* yang

digunakan dalam juga mempunyai bentuk khusus, proses pembentukan berarti adalah proses *non cutting* logam. Produk yang dihasilkan dari *deep drawing* bervariasi tergantung dari desain *die* dan *punch*, gambar 2.3 menunjukkan beberapa jenis produk (*draw piece*) hasil *deep drawing*.



Gambar 2. 2 Jenis *draw piece* (D. Eugene Ostegaard, 1967)

Dalam satu unit *die set* terdapat komponen utama yaitu *punch*, *blankholder*, dan *die*. Sedangkan komponen lainnya merupakan komponen tambahan tergantung dari jenis *die* yang dipakai. Bentuk dan posisi dari komponen utama tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4



Gambar 2. 3 Bagian utama *deep drawing* (R. Hosseini, 2012)

a. *Blankholder*

Berfungsi memegang *blank* atau benda kerja berupa lembaran logam, pada gambar diatas *blankholder* berada diatas benda kerja, walaupun berfungsi untuk memegang benda kerja, benda kerja harus tetap dapat bergerak saat proses *drawing* dilakukan sebab saat proses *drawing* berlangsung benda kerja yang dijepit oleh *blankholder* akan bergerak ke arah pusat sesuai dengan bentuk dari *die drawing*. Sebagian jenis *blankholder* diganti dengan *nest* yang mempunyai fungsi hampir sama, bentuk *nest* berupa lingkaran yang terdapat lubang didalamnya, lubang tersebut sebagai tempat peletakan dari benda kerja agar tidak bergeser ke samping.

b. *Punch*

Punch merupakan bagian yang bergerak ke bawah untuk meneruskan gaya dari sumber tenaga sehingga *blank* tertekan ke bawah, bentuk *punch* disesuaikan dengan bentuk akhir yang diinginkan dari proses *drawing*, letak *punch* pada gambar 2. berada di atas *blank*, posisi dari *punch* sebenarnya tidak selalu diatas tergantung dari jenis *die drawing* yang digunakan.

c. *Die*

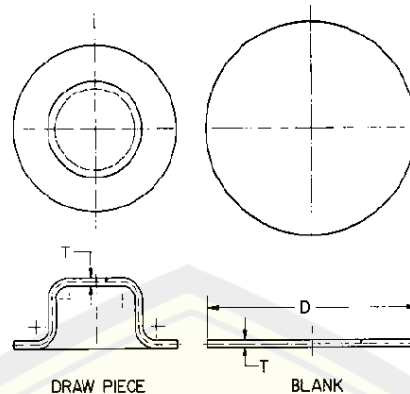
Merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan bentuk akhir dari benda kerja *drawing (draw piece)*, bentuk dan ukuran *die* bervariasi sesuai dengan bentuk akhir yang diinginkan, konstruksi *die* harus mampu menahan

gerakan, gaya geser serta gaya *punch*. Pada *die* terdapat radius tertentu yang berfungsi mempermudah reduksi benda saat proses berlangsung, lebih jauh lagi dengan adanya jari-jari diharapkan tidak terjadi sobek pada material yang akan di *drawing*.

2.4 Deep Drawing

Deep Drawing atau biasa disebut *drawing* adalah salah satu jenis proses pembentukan logam, dimana bentuk pada umumnya berupa silinder dan selalu mempunyai kedalaman tertentu, sedangkan definisi menurut P.CO Sharma seorang professor *production technology drawing* adalah Proses *drawing* adalah proses pembentukan logam dari lembaran logam ke dalam bentuk tabung (*hallow shape*) (P.C. Sharma, 2001).

Deep drawing dan *drawing* pada intinya satu jenis proses produksi namun terdapat beberapa ahli yang membedakan dengan indek ketinggian, proses *deep drawing* mempunyai indek ketinggian yang lebih besar dibandingkan dengan *drawing*. Selain itu terdapat proses produksi yang berbeda dengan proses *drawing* tetapi juga diberi istilah *drawing*, proses tersebut berupa penarikan, seperti pada pembuatan beberapa jenis bentuk kawat. Untuk membedakan kedua proses tersebut beberapa ahli memberikan istilah yang lebih khusus, yaitu *rod drawing* atau *wire drawing* untuk proses pembentukan kawat. Proses *drawing* yang dimaksudkan adalah proses *drawing* yang mempunyai kesamaan arti dengan *deep drawing* bahan dasar dari proses *drawing* adalah *sheet metal* yang disebut dengan *blank*, sedangkan produk dari hasil proses *drawing* disebut dengan *draw piece*. (D. Eugene Ostegaard, 1967)



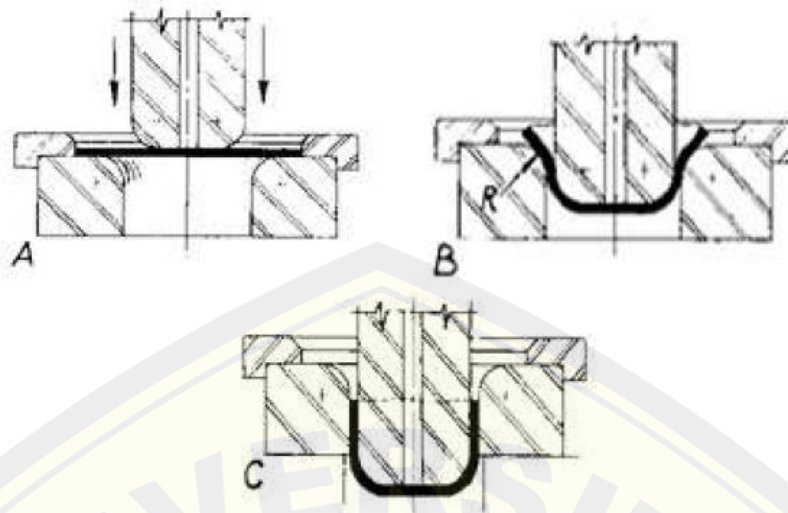
Gambar 2.4 *Blank dan draw piece* (D. Eugene Ostegaard, 1967)

2.4.1 Proses *Deep Drawing*

Proses *deep drawing* dilakukan dengan menekan material benda kerja yang berupa lembaran logam yang disebut dengan *blank* sehingga terjadi peregangan mengikuti bentuk *dies*, bentuk akhir ditentukan oleh *punch* sebagai penekan dan *die* sebagai penahan benda kerja saat di tekan oleh *punch*.

Pengertian dari *sheet metal* adalah lembaran logam dengan ketebalan maksimal 6 mm, *sheet metal* di pasaran dijual dalam bentuk lembaran dan gulungan. Terdapat berbagai tipe dari lembaran logam yang digunakan, pemilihan dari jenis lembaran tersebut tergantung dari strain rate yang diperlukan, benda yang akan dibuat, material yang diinginkan, ketebalan benda yang akan dibuat, dan kedalaman benda.

Pada umumnya berbebagai jenis material logam dalam bentuk lembaran dapat digunakan untuk proses drawing seperti stainless stell, alumunium, tembaga, perak, emas, baja. Maupun titanium. (D. Eugene Ostegaard, 1967)



Gambar 2. 4 Proses *deep drawing* (D. Eugene Ostegaard, 1967)

Proses *deep drawing* terbagi menjadi 5 tahapan dimana diawali dengan kontak awal, *bending*, *straightening*, *compression*, dan *tension*. Berikut penjelasan proses *deep drawing*.

1. Kontak Awal

Pada gambar 2.2 A, *punch* bergerak dari atas ke bawah, *blank* dipegang oleh *nest* agar tidak bergeser ke samping, kontak awal terjadi ketika bagian-bagian dari *die* set saling menyentuh lembaran logam (*blank*) saat kontak awal terjadi belum terjadi gaya-gaya dan gesekan dalam proses *drawing*.

2. *Bending*

Selanjutnya lembaran logam mengalami proses *bending* seperti pada gambar 2.2 B, *punch* terus menekan kebawah sehingga posisi *punch* lebih dalam melebihi jari-jari (R) dari *die*, sedangkan posisi *die* tetap tidak bergerak ataupun berpindah tempat, kombinasi gaya tekan dari *punch* dan gaya penahan dari *die* menyebabkan material mengalami peregangan sepanjang jari-jari *die*, sedangkan daerah terluar dari *blank* mengalami kompresi arah radial. *Bending* merupakan proses pertama yang terjadi pada rangkaian pembentukan proses *drawing*, keberhasilan proses *bending* ditentukan oleh aliran material saat proses terjadi.

3. *Straightening*

Saat *punch* sudah melewati radius *die*, gerakan *punch* ke bawah akan menghasilkan pelurusan sepanjang dinding *die* (gambar 2.2 C), lembaran logam akan mengalami peregangan sepanjang dinding *die*. Dari proses pelurusan sepanjang dinding *die* diharapkan mampu menghasilkan bentuk silinder sesuai dengan bentuk *die* dan *punch*.

4. *Compression*

Proses *compression* terjadi ketika *punch* bergerak kebawah, akibatnya *blank* tertarik untuk mengikuti gerakan dari *punch*, daerah *blank* yang masih berada pada *blankholder* akan mengalami *compression* arah radial mengikuti bentuk dari *die*.

5. *Tension*

Tegangan tarik terbesar terjadi pada bagian bawah cup produk hasil *drawing*, bagian ini adalah bagian yang paling mudah mengalami cacat sobek (*tore*), pembentukan bagian bawah cup merupakan proses terakhir pada proses *drawing*.

2.4.2 Jenis *Deep Drawing*

Jenis *deep drawing* terdapat 4 jenis yaitu *Micro deep drawing*, *Pneumatik Deep drawing*, *Hidrolik deep drawing*, dan konvensional *deep drawing*. dimana setiap jenis memiliki kegunaan tersendiri.

a. *Mirco Deep Drawing*

Dalam penelitian (Ihsan Irthia, 2014), Teknologi pembentukan fleksibel memberikan potensi aplikasi yang signifikan di berbagai bidang manufaktur, terutama pada tingkat miniatur. Kesederhanaan, keserbagunaan proses dan kelayakan pembuatan prototipe membuat teknik pembentukan dengan menggunakan alat fleksibel yang cocok untuk pembentukan lembaran logam mikro. Makalah ini melaporkan hasil simulasi FE dan penelitian eksperimental pada proses *micro deep drawing* dari stainless steel 304 sheet menggunakan flexible *die*. Studi ini menyajikan teknik baru di mana celah awal (positif atau

negatif) diadopsi antara cincin penyetelan dan penahan kosong yang digunakan dalam sistem pembentukan yang dikembangkan. Dudukan kosong adalah bagian yang dapat dipindahkan dan didukung oleh pegas tertentu yang memberikan kekuatan penahan yang diperlukan. Parameter pembentukan (anisotropi bahan SS 304, celah awal, kondisi gesekan pada berbagai antarmuka kontak dan ketebalan lembaran awal) yang terkait dengan proses pembentukan diselidiki secara rinci. Model FE dibangun menggunakan kode komersial Abaqus/Standar. Prediksi numerik mengungkapkan kemampuan teknik yang diusulkan dalam memproduksi cangkir logam mikro dengan kualitas tinggi dan rasio aspek yang besar. Untuk memverifikasi hasil ini, sejumlah percobaan menggambar dalam mikro dilakukan dengan menggunakan pengaturan khusus yang dikembangkan untuk tujuan ini. Karena memberikan pemahaman mendasar diperlukan untuk pengembangan komersial teknik pembentukan baru ini, maka optimasi celah awal sesuai dengan setiap ketebalan lembaran, distribusi ketebalan dan hubungan gaya pukulan / pukulan terdeteksi.

b. Pneumatik *Deep Drawing*

Dalam Penelitian (Zicheng Zhang, 2018), Proses *deep drawing* pneumatik mikro yang diharapkan akan diekstrusi pada suhu tinggi baru saja diusulkan. Sebelum digunakan dalam proses *deep drawing* mikro pneumatik pada suhu tinggi, stabilitas proses *deep drawing* mikro pneumatik diperiksa oleh proses *deep drawing* mikro pneumatik di RT dalam penelitian ini. Proses *deep drawing* mikro pneumatik dengan parameter yang berbeda dilakukan untuk menyelidiki pengaruh kondisi deformasi terhadap perilaku deformasi titanium foil murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan medium dan radius pukulan memiliki pengaruh yang kuat terhadap perilaku deformasi dan distribusi ketebalan foil titanium murni. Microcup dengan kualitas suara dapat diperoleh dengan mengoptimalkan kondisi deformasi.

c. Hidrolik *Deep Drawing*

Menurut (Liang Luo, 2017), Pengaruh tekanan hidrolik pada fitur pembentukan pada gambar dalam mikro hidro berbeda dengan gambar normal

karena ukuran benda uji yang kecil. Dalam studi ini, *micro hydro deep drawing* lembaran SUS304 dilakukan untuk mempelajari dampak tekanan hidrolik pada kualitas cangkir yang ditarik. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa ada rentang tekanan hidrolik kritis dari 3 hingga 6% dari tegangan luluh awal *blank*, di mana tren pengembangan kerutan dan earring berubah dua kali. Kerutan dan earring dari cangkir yang ditarik juga mencapai ekstrem lokal mereka dalam kisaran tekanan kritis. Nilai cup earring bergerak ke arah yang berlawanan dari nilai kerutan. Tekanan hidrolik mempengaruhi kerutan dan earring dari cangkir yang ditarik melalui perubahan kondisi mikro-gesekan, bentuk *blank* dan status tegangan-regangannya. Simulasi elemen mikro-hingga (FE) yang mempertimbangkan faktor-faktor ini serta efek ukuran material menunjukkan hasil yang serupa dengan yang eksperimental, sehingga memvalidasi hasil eksperimen dan kesesuaian model simulasi mikro untuk simulasi FE pembentuk mikro. Hasil eksperimen dan simulasi menunjukkan bahwa tekanan hidrolik kritis berdasarkan tegangan luluh awal *blank* dapat membatasi kerutan dan earring dari cangkir yang ditarik. Tekanan ultra-tinggi berpotensi menghindari kerutan dan anting pada cangkir.

d. Konvensional *Deep Drawing*

Ada perbedaan antara *micro deep drawing* dengan *deep drawing* konvensional, dalam *micro deep drawing*, sebuah cup dibentuk menggunakan logam lembaran dengan tebal antara 0,001 dan 0,300 mm, dan sebuah punch yang berdiameter antara 1 sampai 9 mm. sedangkan *deep drawing* konvensional adalah cup yang dibentuk dari bahan dengan tebal antara 0,09 dan 1 mm, dengan punch yang berdiameter antara 100 dan 1000 mm (Geiger et al., 2002).

2.5 Cacat *Deep Drawing*

Pada proses *deep drawing* sering terjadi kecacatan yang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain; faktor mesin *press*, *die*, serta material yang digunakan, cacat yang mungkin terjadi pada proses *deep drawing* bermacam-macam. seperti retak (*cracking*), sobek (*tearing*), kerutan (*wrinkle*), patah

(*fracture*), *earing* dan (*spring back*) kembalinya pelat ke posisi semula karena sifat elastisitas.

2.5.1 *Cracking*

Cracking pada *deep drawing* dijelaskan dalam penelitian (Susila Candra, 2015) bertujuan untuk memprediksi *varying blank holder force* (VBHF) maksimum pada pukulan pukulan untuk menghilangkan keretakan pada produk cup *deep drawing*. Kekuatan *blank holder* yang konstan selama proses, seringkali tidak mampu mencegah retak, secara efektif. Menggunakan metode slab dengan asumsi volume material yang konstan, pendekatan analitik sederhana dari VBHF maksimum, telah dilakukan di bawah kriteria deformasi kegagalan dan retak pada setiap tahap pukulan pukulan. Kriteria retak didasarkan pada kekuatan maksimum bahan. Lembaran baja grade SPCD, tebal 0,2 mm digunakan dalam penelitian ini. Dan diameter produk berbentuk cangkir silinder adalah 40 mm. Perhitungan analitik dari VBHF maksimum telah dibandingkan dengan simulasi FEM, dan pengaruhnya dalam pencegahan retak. Hasil Analisis VBHF yang maksimal, tidak jauh berbeda dengan simulasi FEM. Dibandingkan dengan penerapan gaya penahan kosong yang konstan, VBHF bisa sangat efektif untuk mencegah terjadinya retak dan meningkatkan kemampuan bentuk *deep drawing*.

2.5.2 *Tearing*

Dalam penelitian (Ali, 2007) pembentukan lembaran logam ada peningkatan permintaan untuk *deep drawing* komponen ringan dengan bentuk yang kompleks. Namun, bahan yang lebih tipis dan lebih ulet lebih rentan terhadap robek selama proses. Diketahui bahwa kedalaman tarikan yang lebih besar dapat dicapai tanpa robek jika *blankholder* dikenai gaya berdenyut. Makalah ini menjelaskan penyelidikan eksperimental di mana cangkir berbentuk silinder digambar dengan gaya *blankholder* berdenyut (PBHF) pada frekuensi ultra-rendah (01 Hz) dan rendah (1-10 Hz). Pengujian dilakukan dengan *blank* baja (DC04) dan aluminium (5754-H111) pada rentang rasio penarikan. Tes menunjukkan bahwa robekan terjadi dalam bagian pukulan pukulan yang jelas. Dari dua parameter, amplitudo dan frekuensi gaya berdenyut, yang terakhir memiliki efek

yang lebih jelas. Untuk rasio penarikan yang menghasilkan rentang kerja yang sempit dari gaya *blankholder* statis, proses dapat dibuat lebih kuat jika PBHF diterapkan pada frekuensi ultra-rendah. Selain itu, PBHF harus disinkronkan sedemikian rupa sehingga, selama bagian robekan kritis yang teridentifikasi dari pukulan, PBHF sesaat disimpan di bawah batas robekan statis dengan menyinkronkan gaya pukulan dan PBHF. Nilai frekuensi yang layak tergantung pada panjang bagian robekan kritis dari langkah dan batas BHF atas dan bawah dari proses.

2.5.3 *Wrinkle*

Menurut penelitian (T. Yagami, 2007), pengaruh pengontrolan gerakan *blank holder* dengan algoritma yang baru diusulkan pada daya tarik dalam diselidiki untuk proses *deep drawing* cangkir melingkar dari lembaran logam tipis, dari perspektif perilaku kerutan serta batas patah. Algoritme untuk mengontrol gerakan *blank holder*, sehingga gaya *blank holder* sangat rendah, dengan membiarkan kerutan sementara telah diusulkan oleh penulis untuk meningkatkan kemampuan *deep-drawability* dari *thin blanks*. Tes gambar dalam eksperimental dari lembaran paduan Cu dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kontrol gerak pada perilaku kerutan. Simulasi elemen hingga (FE) dari proses *deep drawing* juga dilakukan untuk menyelidiki pengaruh metode tersebut terhadap pengurangan kerusakan fraktur. Dalam pekerjaan sebelumnya dengan simulasi FE, kami menunjukkan bahwa metode kontrol gerak efektif untuk membentuk *sheet blanks* yang relatif tipis, dan bahwa kinerja metode kontrol secara signifikan bergantung pada parameter kontrol, yaitu, ketinggian kerutan minimum dan maksimum yang diizinkan, yang terkait dengan pengenalan kerutan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penghapusan kerutan dapat berhasil jika kerutan berada dalam kisaran ketinggian yang diizinkan. Hasil simulasi FE juga menunjukkan bahwa *deep-drawability* dapat ditingkatkan sebagai hasil dari pengurangan akumulasi kerusakan ulet saat menggunakan kontrol pemegang kosong.

2.5.4 *Fracture*

Dalam studi yang dilakukan oleh (Shamik Basak, 2020), penyelidikan eksperimental dan numerik dilakukan untuk memprediksi sifat mampu bentuk dan perilaku patah dari bahan lembaran yang diterima dan pra-regangan selama proses *deep drawing*. Dalam konteks ini, berbagai pengaturan eksperimental skala laboratorium dikembangkan untuk memberikan berbagai jenis dan jumlah pra-regangan seperti 5% dan 10% pra-regangan equi-biaxial (5% EBP dan 10% EBP), 10% pra-regangan bidang. regangan (10% PSP), dan 10% pra-regangan uni-aksial (10% UP) pada lembaran baja extra *deep drawing* (EDD) dan aluminium alloy (AA5052) dengan ketebalan 1,2 mm. Selanjutnya, semua sampel lembaran pra-regangan dideformasi menggunakan pengaturan gambar dalam silinder. Diagram batas pembentukan (FLDs) dari lembaran yang diterima diprediksi oleh model Marciniak–Kuczyński (MK) yang menggabungkan fungsi hasil anisotropik yang berbeda seperti model Hill48 yang diidentifikasi berdasarkan nilai- r (Hill48- r), dan tegangan luluh (Hill48- σ_y), dan model tegangan bidang non-kuadrat Yld2000-2d. Juga, kurva fraktur Bao-Wierzbicki (BW) dikalibrasi menggunakan fungsi hasil anisotropik yang berbeda. Selanjutnya, kemampuan formabilitas dalam hal limiting drawing ratio (LDR) diprediksi menggunakan MK-FLD. Kurva fraktur BW dimasukkan ke dalam platform Generalized Incremental Stress State Dependent Damage Model (GISSMO) dalam perangkat lunak LS-Dyna dan perilaku fraktur diprediksi dalam hal lokasi kegagalan dan ketinggian cangkir pada awal fraktur. Ditemukan juga bahwa penggabungan fungsi hasil Barlat Yld2000-2d ke dalam simulasi FE secara efisien memprediksi perilaku necking dan fraktur dari lembaran yang diterima. Selanjutnya, konsep model kegagalan berbasis regangan plastik efektif kutub independen (PEPS) jalur independen digunakan untuk memprediksi LDR, profil penipisan dan tinggi cangkir fraktur dari semua lembaran pra-regangan yang berbeda. Akhirnya, jalur regangan dan regangan fraktur eksperimental diplot dalam lokus fraktur 3D untuk mendapatkan wawasan tentang perilaku deformasi selama eksperimen *deep drawing*.

2.5.5 Earing

Dalam penelitian (Anubhav Singh, 2018). Baru-baru ini, industri pembentuk lembaran logam telah menunjukkan minat dalam karakterisasi sifat anisotropi, perbedaan kekuatan tarik-kompresi dan perilaku *deep drawing* dari bahan titanium murni komersial (CP Ti) untuk keberhasilan fabrikasi komponen ringan. Dalam pekerjaan ini, sifat mampu bentuk dari lembaran logam CP Ti setebal 1,0 mm dipelajari menggunakan set-up uji *deep drawing* skala laboratorium, dan rasio gambar pembatas (LDR) ditemukan menjadi 2,143. Empat earing diamati di cangkir LDR dengan tinggi cangkir maksimum di sepanjang arah diagonal (DD) dan palung di sepanjang arah bergulir (RD) dan arah melintang (TD), dan tinggi anting sekitar 13,7% dari total tinggi cangkir. Uji tarik dan kompresi tumpukan dilakukan dengan orientasi yang berbeda untuk mengevaluasi sifat anisotropi dan perbedaan kekuatan tekan-tegangan, dan data ini digunakan untuk mengembangkan model hasil konstitutif CPB06. Juga, teori plastisitas anisotropi CPB06 yang dikembangkan diimplementasikan dalam model FE untuk memprediksi aliran material yang tidak seragam, cacat earing, dan distribusi ketebalan dengan sukses. Untuk mengurangi cacat earing, teknik modifikasi *blank* dua tahap diusulkan dengan menggabungkan arah kekuatan luluh dan rasio regangan plastis. Pengurangan 83% yang signifikan pada tinggi earing dicapai melalui penggunaan *blank* yang dimodifikasi dengan manfaat simultan dari peningkatan distribusi ketebalan dan pengurangan beban puncak.

2.5.6 Springback

Dalam jurnal yang ditulis oleh (Radha Krishna Lal 2018), *Spring back* adalah fenomena terpenting yang mempengaruhi keakuratan bagian lembaran logam. masalah penting karena *spring back* adalah cacat pembentukan utama dalam pembentukan lembaran logam menggunakan lembaran baja kekuatan tinggi. *Spring back* terjadi pada pembentukan logam setelah pelepasan beban karena pemulihan elastis material. Sulit untuk mengembangkan rumus analitik untuk pegas kembali bagian yang dibentuk. Sangat disarankan untuk menggunakan parameter proses seperti itu, geometri pahat yang memungkinkan

dimensi pegas kembali secara signifikan jumlah cacat utama dalam pembentukan lembaran logam yang diproses. *Spring back* dipengaruhi oleh banyak faktor termasuk sifat bahan lembaran dan kondisi pemrosesan, Memperoleh ukuran yang diinginkan, bentuk tergantung pada prediksi *spring back*. Dengan menganalisis parameter ini, cacat seperti kerutan, earing, sobek dan *spring back* dan juga kita bisa mendapatkan produk dengan kualitas yang sangat baik.

2.6 Six Sigma

Menurut Vincent Gasperz (2002), “Quality control is the operational techniques and activities used to fulfill requirements for quality”. Tujuan utama pengendalian kualitas adalah untuk mendapatkan jaminan bahwa kualitas produk atau jasa yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan dengan mengeluarkan biaya yang ekonomis atau serendah mungkin. Ada delapan dimensi kualitas yang dikembangkan oleh Garvin dan dapat digunakan sebagai kerangka perencanaan strategis dan analisis, terutama untuk produk manufaktur. Dimensi tersebut adalah kinerja (performance), ciri-ciri (features), Keandalan (reliability), Kesesuaian dengan spesifikasi (Conformance to specification), Daya tahan (durability), Serviceability, Estetika, dan Kualitas yang dipersepsikan (perceived quality).

Menurut Gaspersz (2002) six sigma adalah suatu visi peningkatan kualitas menuju target 3,4 kegagalan per sejuta kesempatan untuk setiap transaksi produk barang dan jasa. Jadi six sigma merupakan suatu metode atau teknik pengendalian dan peningkatan kualitas dramatik yang merupakan terobosan baru dalam bidang manajemen kualitas. Lima Tahapan Six Sigma yaitu Define, Measure, Analyze, Improve, Control. Tahap Define adalah tahap pertama dalam metode peningkatan kualitas Six Sigma. Pada tahap ini didefinisikan masalah yang terjadi di perusahaan.

Menurut pendapat pandle (2002), six sigma adalah sistem yang komprehensif dan fleksibel untuk mencapai, mempertahankan, dan memaksimalkan sukses bisnis. Six sigma secara unik dikendalikan oleh

pemahaman yang kuat terhadap fakta, data, dan analisis statistik, serta perhatian yang cermat untuk mengelolah, memperbaiki, dan menanamkan proses bisnis.

2.6.1 Konsep *six sigma*

Pelanggan pada dasarnya akan merasa puas apabila mereka menerima atau mendapat suatu nilai sesuai dengan harapannya. Apabila suatu produk/jasa diproses pada tingkat kualitas *six sigma*, maka perusahaan bisa mengharapkan 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan atau mengharapkan bahwa 99,99966 persen dari apa yang diharapkan pelanggan akan ada pada produk itu. Menurut (Gasperz 2002) terdapat enam aspek kunci yang perlu diperhatikan dalam aplikasi konsep *six sigma*, yakni:

- a. Identifikasi pelanggan.
- b. Identifikasi produk.
- c. Identifikasi kebutuhan dalam memproduksi produk untuk pelanggan.
- d. Definisi proses.
- e. Menghindari kesalahan dalam proses dan menghilangkan semua pemborosan yang ada.
- f. Meningkatkan proses terus menerus untuk mencapai target *six sigma*

2.6.2 DMAIC

Menurut (Pande dan Holp, 2005), tahapan peningkatan kualitas *six sigma* terdiri dari lima tahap yaitu menggunakan metode DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). Metodologi DMAIC Six-Sigma efektif untuk meningkatkan tingkat sigma, penurunan nilai standar deviasi dan juga penurunan bagian yang diharapkan per juta (PPM) di luar batas spesifikasi. Metodologi DMAIC Six-Sigma terkenal dan mampu memainkan peran yang efisien dalam industri manufaktur dengan mengurangi variabilitas dalam proses (Manish Bhargava, 2021).

a. *Define*

Define merupakan tahap mendefinisikan rencana-rencana tindakan yang harus dilakukan untuk melaksanakan tindakan yang harus dilakukan untuk melaksanakan peningkatan dari setiap tahap proses bisnis. Termasuk dalam langkah *define* ini

adalah menetapkan sasaran dari aktivitas peningkatan kualitas *six sigma*. Pada tingkat operasional sasaran yang mungkin adalah meningkatkan *output* produksi, produktivitas, menurunkan cacat produk. Pada tingkat proyek sasaran dapat serupa dengan tingkat operasional, seperti menurunkan tingkat cacat produk, meningkatkan *output* dari setiap proses produksi.

b. Measure

Measure merupakan tahap kedua dari peningkatan kualitas *six sigma*. Hal pertama yang dilakukan pada tahap ini adalah menetapkan karakteristik kualitas dengan kebutuhan spesifik dari pelanggan. Karakteristik kualitas merupakan hal yang penting karena berhubungan langsung dengan kebutuhan spesifik dari pelanggan. Hal kedua yakni mengidentifikasi proses dengan grafik kendali.

c. Analyze

Analyze merupakan tahap ketiga dari peningkatan kualitas *six sigma*. Hal terpenting dalam *analyze* adalah mengidentifikasi sumber-sumber akar penyebab dari kecacatan atau kegagalan.

d. Improve

Improve merupakan tahapan yang dilakukan setelah diketahui akar penyebab dari kecacatan. Perlu dilakukan penetapan rencana tindakan untuk mengatasi akar penyebab dari kecacatan dalam upaya melaksanakan peningkatan kualitas. Penggunaan alat-alat statistika sangat intensif dalam tahap ini sehingga penyebab-penyebab potensial yang menimbulkan variasi proses dapat teratasi.

e. Control

Control merupakan tahap terakhir dalam peningkatan kualitas *six sigma*. Pada tahap ini hasil-hasil peningkatan kualitas didokumentasikan serta disebarluaskan, praktek terbaik yang sukses dalam meningkatkan proses distandarisasikan dan dijadikan sebagai pedoman kerja standar.

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dimana melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh variasi tertentu terhadap kondisi hasil dari sebuah proses dalam kondisi yang terkendalikan dan metode penelitian empiris dimana data-data dilapangan sebagai acuan utama.

Tahap pada penelitian diawali dengan menyiapkan plat kuningan C26000 dengan ketebalan 0,06 mm; 0,09 mm; 0,12 mm. Selanjutnya dilakukan pemotongan semua plat kuningan C26000 membentuk persegi dengan ukuran 10 mm x 10 mm sebanyak 100 unit tiap variasi ketebalan. Kemudian dilanjutkan proses *deep drawing* dengan meletakkan plat yang sudah dipotong sejajar dengan garis atas dan bawah *die* yang telah disiapkan. Kemudian beri tekanan pada alat press *deep drawing* dengan beban seberat 311,8 N dan tunggu sampai *deep drawing* berhenti bergerak. Setelah *deep drawing* diam, angkat beban dan ambil plat hasil *deep drawing* kemudian kelompokkan sesuai variasi ketebalan. Hasil dari *deep drawing* selanjutnya amati hasil *deep drawing*, kemudian analisa jenis cacat yang timbul di tiap variasi ketebal kuningan C26000, dan ditarik kesimpulan jenis cacat dominan pada setiap variasi.

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan Bengkel Penulis yang berlokasi di Jl. Sunan Giri 15B No. 37, Gresik, Jawa timur. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan September 2022 sampai dengan selesai.

3.3 Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan selama preoses penelitian berlangsung, berikut alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian:

3.3.1 Alat

Alat atau perkakas merupakan benda yang digunakan untuk mempermudah proses dalam penelitian. Dalam penelitian ini terdapat alat yang digunakan sebagai berikut:

a. *Deep Drawing Press*

Deep drawing press yang digunakan tanpa menggunakan pneumatik maupun hidrolis untuk mengoperasikan *deep drawing press* menggunakan gaya tekan manual atau disebut *deep drawing press* konvensional.



Gambar 3. 1 *Deep drawing press*

b. *Die* dan *Punch*

Die merupakan komponen utama yang berperan dalam menentukan bentuk akhir dari benda kerja *drawing* (*draw piece*), bentuk separuh stoberi dan ukuran *die* untuk bentuk awal benda kerja (*blank*) berbentuk persegi dengan luas penampang 10 mm x 10 mm.

Punch merupakan bagian yang bergerak ke bawah untuk meneruskan gaya dari sumber tenaga sehingga *blank* tertekan ke bawah, bentuk *punch* separuh stoberi, letak *punch* berada di atas *Blank*.



Gambar 3. 2 (a) *die*, (b) *Punch*

c. Kamera

Kamera adalah alat penangkap gambar yang digunakan untuk mendokumentasikan alat, bahan, cacat produk *deep drawing*, dan bukti penelitian lainnya. Kamera yang digunakan adalah kamera Samsung Triple Camera Galaxy M21.



Gambar 3. 3 Kamera Digunakan untuk Penelitian.

d. Mikrometer

Mikrometer adalah alat ukur tebal atau diameter benda dalam skala mikro. Mikrometer yang digunakan untuk penelitian memiliki ketelitian 0,01 mm dan skala 0 – 25 mm. Mikrometer digunakan untuk mengukur ketebalan plat *blank*.



Gambar 3. 4 Mikrometer

e. Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan alat ukur ketebalan, diameter luar maupun dalam, dan kedalaman. Dalam penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur luas penampang *blank*.



Gambar 3. 5 Jangka Sorong

f. Gunting

Gunting merupakan alat untuk memotong plat digunakan dengan tangan. Dalam penelitian ini gunting yang digunakan adalah gunting kertas biasa.



Gambar 3. 6 Gunting kertas

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat kuningan C26000 atau 70/30 brass. Plat kuningan C26000 ini akan digunakan sebagai *blank* dalam proses *deep drawing*.



Gambar 3. 7 Plat Kuningan C26000

3.4 Oprasional Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah objek penelitian atau apa yang menjadi titik perhatian dari suatu penelitian (Arikunto, 2006). Variabel yang diteliti harus sesuai dengan permasalahan dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian. Dalam penelitian ini terdapat 3 variabel yaitu variabel bebas, variabel kontrol, variabel terikat

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang menjadi penyebab perubahan terhadap variabel lainya. Hal ini dipilih akan faktor mana saja yang akan diteliti dan pengaruhnya terhadap variabel lainya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah ketebalan plat kuningan dengan variasi ketebalan 0,06 mm; 0,09 mm; dan 0,12mm.

3.4.2 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dapat dikendalikan oleh peneliti dan dibuat konstan. Dalam penelitian ini jenis kuningan yang digunakan adalah C26000, dimensi plat kuningan berbentuk persegi dengan ukuran 10 mm x 10 mm, proses *deep drawing* ditekan dengan gaya 311,8 N.

3.4.3 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh perubahan nilai pada variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah jenis cacat dan presentase cacat dominan disetiap variasi ketebalan pada hasil proses *deep drawing* menggunakan metode six sigma dengan pendekatan DMAIC.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Ada beberapa metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini, yakni:

a. Metode Observasi

Metode Observasi merupakan suatu cara pengumpulan data dimana peneliti melakukan pengamatan secara langsung ke objek penelitian untuk

melihat dari dekat proses yang dilakukan. Dengan metode ini diharapkan dapat mengetahui penyebab permasalahan secara langsung.

b. Metode Dokumentasi

Metode dokumentasi merupakan salah satu cara untuk mencari data berupa catatan, buku, transkrip, surat kabar, dan sebagainya. Dengan metode ini diharapkan dapat memperoleh data produksi, data produk cacat dan data jenis cacat pada produk hasil proses *deep drawing* pada setiap variasi ketebalannya.

3.6 Metode Analisis

Metode yang digunakan mengacu pada prinsip-prinsip yang terdapat dalam metode six sigma. Metode ini digunakan untuk mengantisipasi terjadinya kesalahan atau cacat dengan menggunakan langkah-langkah yang terukur dan terstruktur. Dengan berdasarkan pada data yang ada, maka *contious improvement* dapat dilakukan berdasarkan metodologi penelitian six sigma dengan melalui pendekatan DMAIC (Pande dan Holpp, 2005)

a. Define

Tahapan define dilakukan dengan melakukan identifikasi terkait masalah kerusakan produk *deep drawing* berupa aksesoris ating-anting berbahan kuningan C26000. Cara yang diterapkan adalah:

- 1) Mengidentifikasi cacat produk *deep drawing*.
- 2) Mendefinisikan jenis cacat *deep drawing*.
- 3) Mendefinisikan rencana yang dilakukan berdasarkan hasil observasi dan analisis penelitian

b. Measure

Tahapan measure dilakuak pengukuran dan perhitungan terhadap data hasil penelitian. Tahap measure penelitian ini adalah analisis penelitian untuk menentukan tingkat sigma dan mengitung nilai *Defect Per Million Opportunities*. Cara menganalias dan perhitungan nilai DPMO ditunjukkan pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Tahapan perhitungan tingkat sigma dan DPMO

Langkah	Tindakan	Persamaan
1	Proses apa yang ingin diketahui?	-
2	Berapa Banyak Produk yang diproduksi?	-
3	Berapa banyak produk yang baik?	-
4	Hitung hasil untuk proses yang diidentifikasi dalam langkah 1	$= \frac{\text{(Langkah 3)}}{\text{(Langkah 2)}}$
5	Hitung tingkat cacat berdasarkan langkah 4	$= 1 - \text{(langkah 4)}$
6	Tentukan CTQ produk cacat	$= \text{Jumlah karakteristik CTQ}$
7	Hitung tingkat cacat per karakteristik CTQ	$= \frac{\text{(Langkah 5)}}{\text{(Langkah 6)}}$
8	Hitung cacat per satu juta kesempatan	$= \text{(Langkah 7)} \times 1.000.000$
9	Konversi DPMO kedalam nilai sigma	-
10	Buat kesimpulan	-

Sumber: Gasperzs, 2002.

c. Analyze

Tahapan selanjutnya adalah analyze untuk menentukan jenis cacat dominan disetiap variasi ketebalan produk *deep drawing* berupa aksesoris anting-anting berbahan kuningan C26000 dengan analisis diagram pareto.

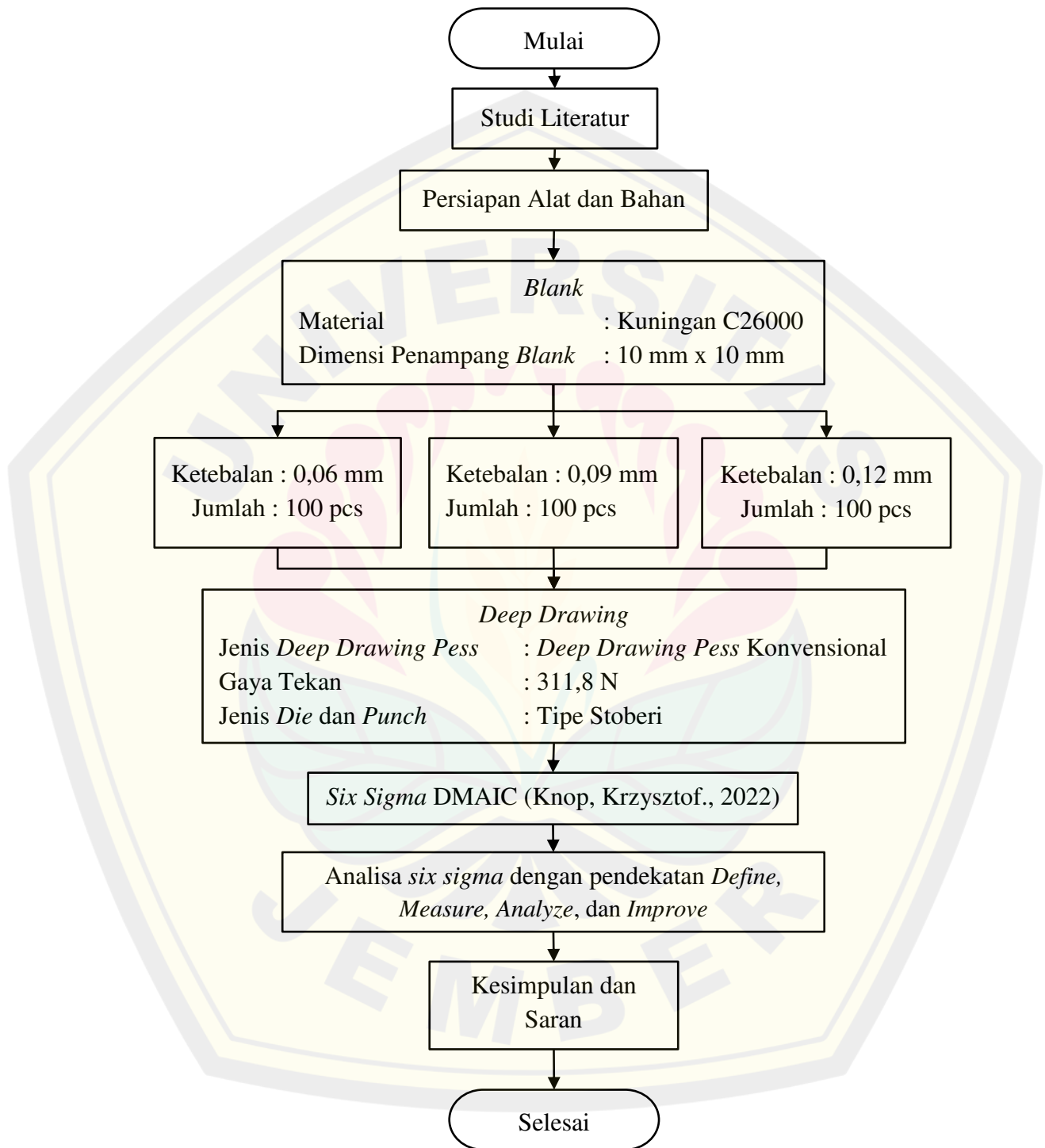
Diagram pareto digunakan untuk mengurutkan produk yang berada diluar batas kontrol berdasarkan tingkat proporsi kerusakan terbesar sampai dengan yang terkecil. Diagram pareto ini akan membantu untuk memfokuskan pada masalah kerusakan produk yang lebih sering terjadi.

d. Improve

Improve merupakan tahap peningkatan kualitas six sigma harus melakukan pengukuran (hasil kerusakan), rekomendasi ulasan perbaikan atau penanggulangan.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan langkah-langkah yang dilakukan selama penelitian. Berikut diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Diagram Alir Penelitian.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Jenis Cacat yang Timbul dari Proses *Deep Drawing*

Produk cacat adalah produk yang telah dihasilkan oleh suatu proses dan produk tersebut tidak memenuhi spesifikasi atau standar yang ditetapkan oleh produsen produk tersebut, tetapi masih dapat diperbaiki dengan usaha atau biaya tertentu. Dalam *deep drawing* terdapat berbagai jenis cacat yang timbul sehingga dapat mempengaruhi proses produksi. penelitian ini dilakukan untuk menganalisis cacat pada hasil pengujian, yang dipengaruhi oleh perbedaan ketebalan pada benda uji (*blank*). (Wahyuno, 2008)

4.1.1 Hasil Proses *Deep Drawing*

Dalam penelitian ini dilakukan pengamatan secara mendalam dalam proses *deep drawing* dan hasil proses *deep drawing* untuk memperoleh data kecacatan produk. Dari 300 *blank* yang terbagi menjadi 3 ketebalan 0,06 mm, 0,09 mm, dan 0,12 mm dimana terbagi 100 *blank* disetiap ketebalan. Berikut tabel data hasil proses *deep drawing*.

Tabel 4.1 Data Hasil Proses *Deep Drawing*

No.	Ketebalan	Kondisi	Jumlah
1.	0,06 mm	Tidak Cacat	12
2.	0,06 mm	Cacat	88
3.	0,09 mm	Tidak Cacat	48
4.	0,09 mm	Cacat	52
5.	0,12 mm	Tidak Cacat	80
6.	0,12 mm	Cacat	20

Dalam tabel 4.1 ditunjukkan bahwa ketebalan 0,06 mm memiliki jumlah cacat terbesar dibandingkan dengan cacat pada ketebalan 0,09 mm dan 0,12 mm. Sedangkan pada ketebalan 0,12 mm memiliki jumlah produk cacat paling sedikit dibandingkan dengan cacat pada ketebalan 0,06 mm dan 0,09 mm. efek dari parameter geometri yang terlibat dan cacat yang ditemui dalam proses disajikan

seperti semakin tipis ketebalan *blank* semakin memperbesar peluang untuk terjadinya cacat. (Adnan I. O. Zaid, 2016)

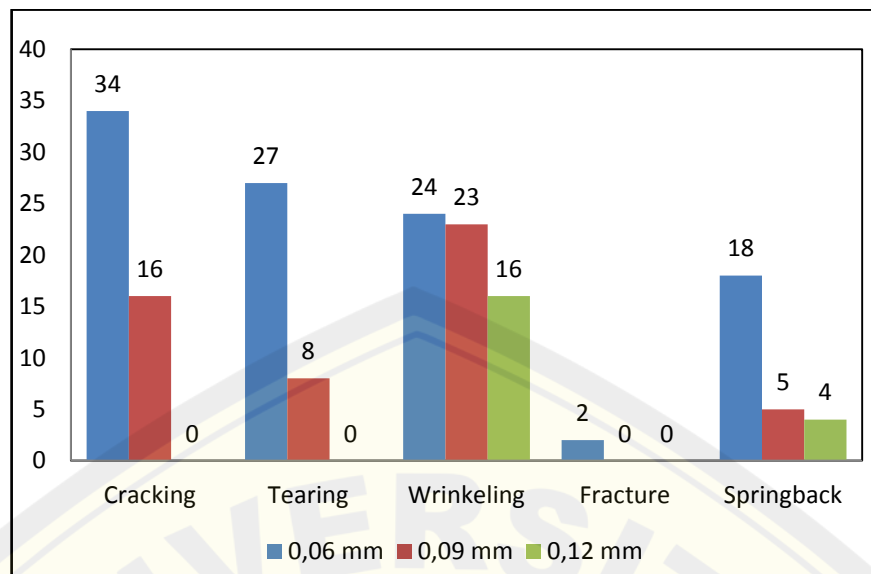
4.1.2 Jenis Cacat Hasil Proses *Deep Drawing*

Dalam tabel 4.1 terdapat cacat pada ketebalan 0,06 mm sebanyak 88 *draw piece*, pada ketebalan 0,09 mm sebanyak 52 *draw piece*, dan ketebalan 0,12 mm sebanyak 20 *draw piece*. Dimana cacat *deep drawing* ada beberapa jenis seperti *cracking*, *tearing*, *wrinkling*, *fracture*, dan *springback*. Tabel di bawah ini menunjukkan hasil dari proses *deep drawing*. Berikut tabel data cacat hasil proses *deep drawing*.

Tabel 4.2 Tabel data cacat hasil proses *Deep Drawing*

No.	Ketebalan	Jenis cacat	Jumlah
1.	0,06 mm	<i>Cracking</i>	34
2.	0,06 mm	<i>Tearing</i>	27
3.	0,06 mm	<i>Wrinkling</i>	24
4.	0,06 mm	<i>Fracture</i>	2
5.	0,06 mm	<i>Springback</i>	18
6.	0,09 mm	<i>Cracking</i>	16
7.	0,09 mm	<i>Tearing</i>	8
8.	0,09 mm	<i>Wrinkling</i>	23
9.	0,09 mm	<i>Springback</i>	5
10.	0,12 mm	<i>Wrinkle</i>	16
11.	0,12 mm	<i>Springback</i>	4

Dari hasil pengamatan yang ditunjukkan pada tabel 4.2 maka dapat diperoleh hubungan antara ketebalan *blank* terhadap jenis cacat yang timbul. Dari keseluruhan cacat terdapat 5 jenis cacat yang timbul, yaitu *cracking*, *tearing*, *wringkeling*, *fractur*, dan *springback*. Untuk memperjelas data maka ditampilkan gambar 4.1 grafik jenis cacat *deep drawing*.



Gambar 4.1 Grafik Jenis Cacat *Deep Drawing*

Dari gambar 4.1 tersebut dapat dijelaskan bahwa semakin tipis *blank* maka akan semakin banyak variasi cacat yang timbul dari proses *deep drawing*, dapat dilihat pada ketebalan 0,06 mm timbul cacat 5 jenis yaitu *cracking*, *tearing*, *wrinkeling*, *fractur*, dan *springback*. Kemudian ketebalan 0,09 mm timbul 4 jenis cacat yaitu *cracking*, *tearing*, *wrinkeling*, dan *springback*. Ketebalan 0,12 mm timbul 2 jenis cacat yaitu *wrinkling* dan *springback*. Jadi dapat disimpulkan bahwa ketebalan *blank* mempengaruhi timbulnya jenis cacat *deep drawing*. Menurut penelitian oleh (Y Marumo, 2007), semakin tipis ketebalan *blank* maka semakin tinggi resiko terjadinya cacat pada proses *deep drawing*.

Jumlah total produk *deep drawing* sebanyak 300 produk yang terbagi menjadi 3 ketebalan dimana setiap ketebalan terdapat 100 produk. Dalam produk disetiap ketebalan ditemukan produk yang cacat yang dikelompokkan dalam beberapa jenis. Dari data yang diperoleh dari proses *deep drawing* akan diperoleh menggunakan metode six sigma dengan pendekatan DMAIC.

4.2 Pengolahan Data Persentase Jenis Cacat

Kami memeriksa sumber kami untuk mempelajari yang mana dari empat gagasan pemecahan masalah yang berlaku untuk Six Sigma. Bukti menunjukkan bahwa DMAIC dapat diterapkan dalam berbagai cara. Dalam aplikasi lain, DMAIC berfungsi sebagai template untuk Pemecahan Masalah Definisi, atau

sebagai model untuk pemecahan masalah Riset Sains. (De Mast, J., dan Lokkerbol, J., 2012)

Six sigma adalah metode untuk meningkatkan produktivitas dan profitabilitas. Six Sigma dapat membantu mengatasi masalah menghilangkan variasi produk atau mengurangi jumlah produk cacat produksi. Langkah-langkah untuk mengolah data ini menggunakan langkah-langkah DMAIC.

4.2.1 Define

Tahap define merupakan tahap pertama dalam peningkatan kualitas six sigma. Tahap define adalah tahap mendefinisikan permasalahan yang didapatkan dari hasil pengolahan data produksi. Pada tahap ini ditentukan permasalahan kualitas yang spesifik dengan urgensi tertinggi pada produk untuk dilakukan tindakan perbaikan. (Fredy Sumasto, 2022)

Dalam tahap ini dilakukan pendefinisian terkait kerusakan produk *deep drawing* berupa akeseoris anting anting berbahan kuningan C26000. Dalam tahap ini dilakuan pendefinian terhadap hal-hal berikut:

a. Identifikasi Cacat Produk *Deep Drawing*

Deep drawing sering menemui cacat yang disebabkan oleh beberp faktor bentuk dan bahan. Cacat yang bisa terjadi pada proses *deep drawing* bermacam-macam. Cacat seperti *cracking*, *tearing*, *wrinkle*, *fracture*, *earring*, dan *springback*.

b. Mendefinisikan Cacat *Deep Drawing*

Cacat yang mungkin terjadi pada proses *deep drawing* bermacam-macam, seperti retak (*cracking*), sobek (*tearing*), kerutan (*wrinkle*), patah (*fracture*), *earring* dan (*spring back*) yang dapat didefinikan sebagai berikut:

1. *Cracking*

Perkiraan analitik sederhana dari VBHF maksimum di bawah kriteria kerusakan deformasi dan retakan pada setiap langkah pencetakan dibuat menggunakan metode pelat, yang mengasumsikan volume material konstan. Kriteria retak didasarkan pada kekuatan maksimum material. Pada penelitian ini

digunakan pelat baja grade SPCD dengan ketebalan 0,2 mm. Dan diameter produk berbentuk cangkir silinder adalah 40mm. (Susila Candra, 2015)

2. Tearing

Menjelaskan penyelidikan eksperimental di mana cangkir berbentuk silinder digambar dengan gaya *blankholder* berdenyut (PBHF) pada frekuensi ultra-rendah (01 Hz) dan rendah (1-10 Hz). Pengujian dilakukan dengan *blank* baja (DC04) dan aluminium (5754-H111) pada rentang rasio penarikan. Tes menunjukkan bahwa robekan terjadi dalam bagian pukulan pukulan yang jelas. (Ali, 2007)

3. Wrinkle

Pengaruh pengontrolan gerakan *blank holder* dengan algoritma yang baru diusulkan pada daya tarik dalam diselidiki untuk proses *deep drawing* cangkir melingkar dari lembaran logam tipis, dari perspektif perilaku kerutan serta batas patah. (T. Yagami, 2007)

4. Fracture

Kurva fraktur BW dimasukkan ke dalam platform Generalized Incremental Stress State Dependent Damage Model (GISSMO) dalam perangkat lunak LS-Dyna dan perilaku fraktur diprediksi berdasarkan lokasi fraktur dan ketinggian cawan pada inisiasi fraktur. Ditemukan juga bahwa dimasukkannya fungsi hasil 2d Barlat Yld2000 dalam simulasi FE secara efektif memprediksi perilaku kerah dan fraktur dari pelat yang diterima. (Shamik Basak, 2020)

5. Springback

Springback adalah kesalahan bentuk yang besar dalam pembentukan lembaran logam dengan baja berkekuatan tinggi. Springback terjadi pada pembentukan logam setelah bongkar karena pemulihan elastis material. Sulit untuk mengembangkan rumus analitis untuk sumber pengembalian cetakan. Sangat disarankan untuk menggunakan parameter proses seperti itu, geometri pahat, yang memungkinkan sejumlah besar kesalahan signifikan dalam dimensi

pegas balik saat membentuk lembaran yang sedang diproses. (Radha Krishna Lal 2018)

- c. Mendefinisikan rencana yang dilakukan berdasarkan hasil observasi dan analisis penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif yang melakukan eksperimen untuk mengetahui pengaruh variasi tertentu terhadap hasil suatu prosedur dalam kondisi terkendali, dan metode penelitian empiris dimana data lapangan merupakan acuan utama.

Tahap penelitian diawali dengan penyiapan plat kuningan C26000 dengan ketebalan 0,06 mm; 0,09mm; 0,12mm. Selanjutnya potong semua plat kuningan C26000 menjadi bentuk persegi 10mm x 10mm sebanyak 100 buah per variasi ketebalan. Kemudian dilanjutkan ke proses *deep drawing* dengan menempatkan cutting plate sejajar dengan garis atas dan bawah *die* yang telah disiapkan. Kemudian tekan press dengan beban 311,8 N dan tunggu hingga hentakan berhenti. Setelah pengecapan selesai, angkat beban dan lepaskan lembaran dari pengecapan, lalu pasang kembali sesuai dengan perubahan ketebalannya. Hasil *deep drawing* kemudian mengamati hasil *deep drawing*, kemudian menganalisa jenis kecacatan yang terjadi pada setiap variasi ketebalan kuningan C26000 dan menarik kesimpulan mengenai jenis kecacatan yang dominan pada setiap varian.

4.2.2 Measure

Langkah pengukuran dilakukan dengan mengukur dan menghitung data penelitian. Langkah pengukuran penelitian ini adalah menganalisis penelitian untuk menentukan level sigma dan menghitung nilai kesalahan per sejuta peluang. Bagaimana menganalisis dan menghitung nilai DPMO.

Tabel 4.3 Tabel Six Sigma Produk *Deep Drawing*

No.	Ketebalan	DPMO	Sigma Level	Keterangan
1.	0,06 mm	176.000	2,43	Tidak kompetitif
2.	0,09 mm	130.000	2,63	Tidak kompetitif
3.	0,12 mm	100.000	2,78	Tidak kompetitif

Six sigma digunakan untuk perbaikan dan peningkatan proses serta pengendalian kualitas. Six sigma digunakan sebagai alat untuk memecahkan masalah produksi sehingga dapat dibentuk terobosan-terobosan untuk meningkatkan produksi dan mengurangi cacat produk (Pande dan Holp, 2005).

Dalam tabel 4.3 ketebalan 0,06 memiliki DPMO 176.000 dan sigma level paling kecil yaitu 2,43 dimana nilai tersebut tidak kompetitif. Ketebalan 0,09 mm memiliki DPMO 200.000 dan sigma level 2,63 dimana nilai tersebut tidak kompetitif dalam skala industri. Ketebalan 0,12 mm memiliki DPMO 100.000 dan sigma level 2,78 dimana nilai tersebut tidak kompetitif dalam skala industri.

4.2.3 Analyze

Pada tahap analisis, berbagai alat dan metode digunakan untuk menemukan akar penyebab, menilai risiko, dan menganalisis data. Untuk mengkonfirmasi analisis, beberapa sampel harus dilakukan dan masalah potensial harus dibuktikan sebagai masalah nyata. (Smętkowska, M., & Mrugalska, B., 2018)

Tahap analyze adalah tahap dimana dilakukan identifikasi penyebab kecacatan berdasarkan pada analisis data menggunakan diagram pareto untuk mengetahui data cacat dominan dan jenis cacat yang menjadi prioritas perbaikan. Terdapat 3 ketebalan berbeda yang perlu dilakukan analisis menggunakan diagram pareto untuk mengetahui cacat dominan yang timbul disetiap ketebalan.

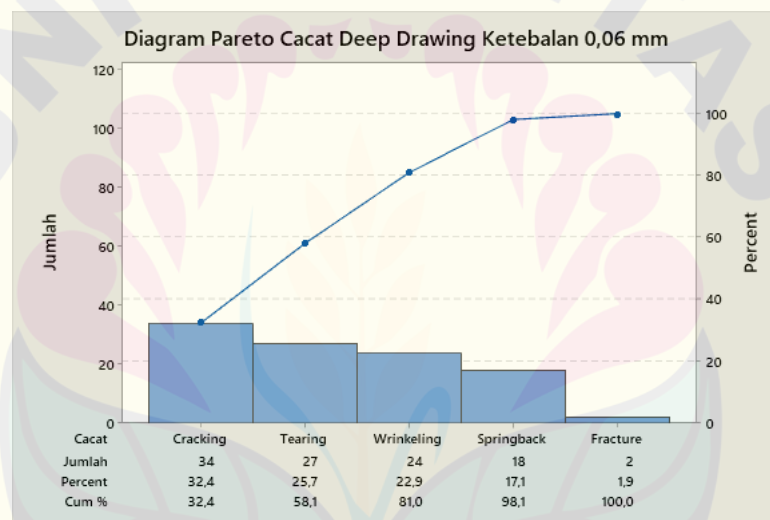
a. Ketebalan 0,06 mm

Dari hasil pengamatan yang dilakukan, terdapat jenis cacat yang ada dalam proses *deep drawing*. Berikut hasil identifikasi jenis cacat yang ditemukan pada proses *deep drawing* ketebalan 0,06 mm.

Tabel 4.4 Jenis Cacat *Deep Drawing* Ketebalan 0,06 mm

No.	Jenis Cacat	Jumlah Cacat	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
1.	<i>Cracking</i>	34	32,4	34,4
2.	<i>Tearing</i>	27	25,7	58,1
3.	<i>Wrinkling</i>	24	22,9	81,0
4.	<i>Springback</i>	18	17,1	98,1
5.	<i>Fracture</i>	2	1,9	100
	Jumlah	88	100	

Pada gambar 4.1 data frekuensi berdasarkan jenis cacat pada proses *deep drawing* ketebalan 0,06 mm diolah menjadi diagram pareto sehingga nantinya dapat ditentukan cacat mana yang harus diselesaikan dahulu.

Gambar 4.2 Diagram Pareto Cacat *Deep Drawing* Ketebalan 0,06 mm

Dari diagram pareto pada gambar 4.1 diketahui jenis cacat yang dominan dengan melihat kurva kumulatifnya. Sesuai dengan prinsip pareto yang menyatakan aturan 80/20 yang artinya 80 persen masalah kualitas disebabkan oleh 20 persen penyebab kecacatan, sehingga dipilih jenis cacat yang kumulatif (Clara Valentina, 2016). Dapat dilihat bahwa *cracking* (32,4%), *Tearing* (25,7%), dan *Wrinkling* (22,9%). Jika ketiga jenis cacat 80% dari masalah akan diselesaikan, sehingga tiga jenis cacat menjadi prioritas yang harus dibenahi terlebih dahulu.

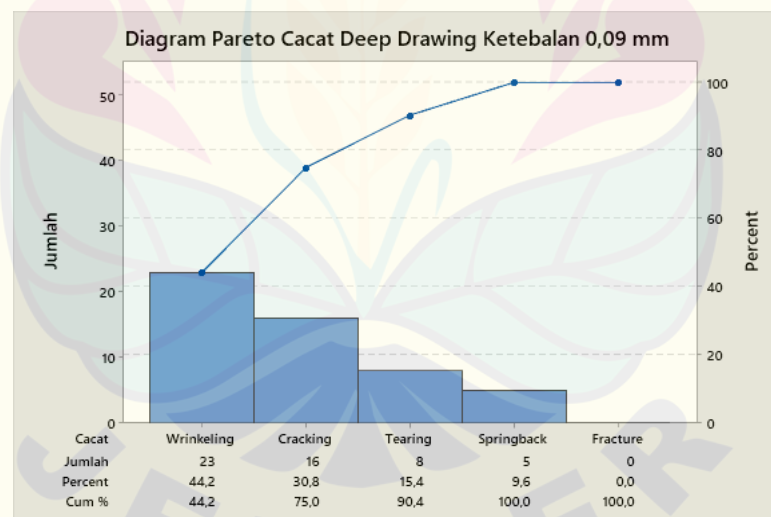
b. Ketebalan 0,09 mm

Dari hasil pengamatan yang dilakukan, terdapat jenis cacat yang ada dalam proses *deep drawing*. Berikut hasil identifikasi jenis cacat yang ditemukan pada proses *deep drawing* ketebalan 0,09 mm.

Tabel 4.5 Jenis Cacat *Deep Drawing* Ketebalan 0,09 mm

No.	Jenis Cacat	Jumlah Cacat	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
1.	<i>Cracking</i>	23	44,2	44,2
2.	<i>Tearing</i>	16	30,8	75,0
3.	<i>Wrinkling</i>	8	15,4	90,4
4.	<i>Springback</i>	5	9,6	100
5.	<i>Fracture</i>	0	0	100
	Jumlah	52	100	

Pada gambar 4.2 data frekuensi berdasarkan jenis cacat pada proses *deep drawing* ketebalan 0,09 mm diolah menjadi diagram pareto sehingga nantinya dapat ditentukan cacat mana yang harus diselesaikan dahulu.

Gambar 4.3 Diagram Pareto Cacat *Deep Drawing* Ketebalan 0,09 mm

Dari diagram pareto pada gambar 4.2 diketahui jenis cacat yang dominan dengan melihat kurva kumulatifnya. Dapat dilihat bahwa terjadi *cracking* (44,2%), *wrinkling* (30,8%), dan *tearing* (15,4%). Jika ketiga jenis cacat 80% dari masalah akan diselesaikan, sehingga tiga jenis cacat menjadi prioritas yang harus dibenahi

terlebih dahulu. 80% cacat juga diterapkan dalam penelitian untuk mengetahui cacat yang kritis dalam produksi wafer dimana cacat dimensi tidak standart, kemasasn jumper, seal kemasn miring dan sheet wafer geripis persesntase komuatif mencapai 80%. (Adek Suherman. 2019)

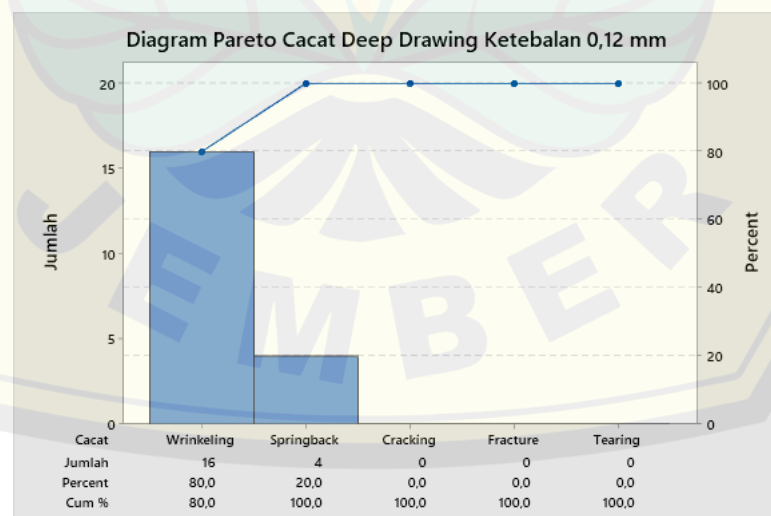
c. Ketebalan 0,12 mm

Dari hasil pengamatan yang dilakukan, terdapat jenis cacat yang ada dalam proses *deep drawing*. Berikut hasil identifikasi jenis cacat yang ditemukan pada proses *deep drawing* ketebalan 0,12 mm.

Tabel 4.6 Jenis Cacat *Deep Drawing* Ketebalan 0,12 mm

No.	Jenis Cacat	Jumlah Cacat	Persentase (%)	Persentase Kumulatif (%)
1.	<i>Wrinkling</i>	16	80	80,0
2.	<i>Springback</i>	4	20	100
3.	<i>Cracking</i>	0	0	0
4.	<i>Tearing</i>	0	0	0
5.	<i>Fracture</i>	0	0	0
	Jumlah	20	100	

Pada gambar 4.3 data frekuensi berdasarkan jenis cacat pada proses *deep drawing* ketebalan 0,12 mm diolah menjadi diagram pareto sehingga nantinya dapat ditentukan cacat mana yang harus diselesaikan dahulu.



Gambar 4.4 Diagram Pareto Cacat *Deep Drawing* Ketebalan 0,12 mm

Dari diagram pareto pada gambar 4.2 diketahui jenis cacat yang dominan dengan melihat kurva kumulatifnya. Jumlah akumulasi dari jumlah faktor ditemukan sebagai jumlah dari jumlah faktor terakhir. Oleh karena itu, jumlah elemen berikut, yaitu jumlah akumulasi dari angka tersebut faktor, adalah jumlah kumulatif dari semua aspek. Selanjutnya, kami menghitung persentase jumlah faktor untuk setiap atribut. Kemudian, dihitung persentase jumlah faktor untuk setiap poin untuk jumlah total yang diperlukan untuk menghitung akumulasi persentase jumlah faktor (Statsenko, E., 2021). Dapat dilihat bahwa terjadi *wrinkling* (80,0%), Jika hanya satu jenis cacat 80% dari masalah akan diselesaikan, sehingga satu jenis cacat menjadi prioritas yang harus dibenahi terlebih dahulu.

4.2.4 Improve

Improve adalah tahap keempat dari pendekatan DMAIC. Tujuannya adalah untuk menemukan solusi terbaik untuk masalah yang ada yang akar penyebabnya telah ditemukan pada tahap analisis. Tahap keempat adalah Improvement dimana diberikan rekomendasi-rekomendasi perbaikan untuk mengurangi persentase produk cacat yang terjadi. (Nurwan Tjadis Ibrahim, 2022)

Tahap improve merupakan tahap peningkatan Six Sigma dari hasil pengukuran dan analisis permasalahan cacat *deep drawing*. Dari proses pengukuran sigma level disemua varisai ketebalan memiliki hasil yang tidak kompetitif dan dilanjutkan tahap analisis yang sesuai dengan prinsip pareto yang menyatakan aturan 80/20 yang artinya 80 persen masalah kualitas disebabkan oleh 20 persen penyebab kecacatan (Dino Caesaron, 2015)

Dari hasil pengamatan berupa diagram pareto dari ketebalan 0,06 mm 80% dari cacat *deep drawing* berjenis *cracking* (32,4%), *tearing* (25,7%), dan *wrinkling* (22,9%). Kemudian ketebalan 0,09 mm 80% dari cacat *deep drawing* berjenis *cracking* (44,2%), *wrinkling* (30,8%), dan *tearing* (15,4%). ketebalan 0,09 mm 80% dari cacat *deep drawing* berjenis *wrinkling* (80%). Dapat disimpulkan bahwa yang perlu diperhatikan adalah cacat *cracking*, *tearing*, dan *wrinkling*.

a. *Wrinkling*

Dari hasil pengamatan hasil *deep drawing* ditemukan jenis cacat *wrinkling* di ketebalan 0,06 mm sebesar (22,9%) dengan jumlah cacat sebanyak 24 cacat dari 88 produk cacat; 0,09 mm sebesar (15,4%) dengan jumlah cacat sebanyak 8 dari 52 produk cacat; dan 0,12 mm (80%) dengan jumlah cacat sebanyak 16 dari 20 produk cacat. Cacat *wrinkling* merupakan cacat dengan persentase tertinggi diketebalan 0,12 mm. Maka dari itu diperlukan pengurangan resiko timbulnya cacat jenis *wrinkling*. Diperkuat dengan penelitian M. Habibi dkk (2020) bahwa tekanan dan kecepatan *punch* akan mempengaruhi jenis cacat yang akan timbul seperti *wrinkle* pada *cup* hasil *drawing*, maka untuk menghasilkan *cup drawing* tanpa cacat harus memperhatikan 2 parameter *drawing* yaitu tekanan dan kecepatan *punch*.

b. *Cracking*

Dari hasil pengamatan hasil *deep drawing* ditemukan jenis cacat *cracking* di ketebalan 0,06 mm sebesar (32,4%) dengan jumlah cacat 34 dari 88 produk cacat dan 0,09 mm sebesar (44,2%) dengan jumlah cacat 23 dari 52 produk cacat. Cacat *cracking* merupakan cacat dengan persentase tertinggi diketebalan 0,06 mm dan 0,09 mm. Maka dari itu diperlukan pengurangan resiko timbulnya cacat jenis *cracking*. Dalam penelitian Antje Zoesch (2015) semakin tipis plat semakin mempermudah terjadinya *cracking* dikarenakan terjadinya penipisan ketebalan *blank* akibat tekanan dan pembentukan *deep drawing*. Oleh karena itu tidak direkomendasikan untuk menggunakan ketebalan *blank* 0,06 mm pada proses *deep drawing* dikarenakan besar kemungkinan terjadinya cacat *cracking*.

c. *Tearing*

Dari hasil pengamatan hasil *deep drawing* ditemukan jenis cacat *tearing* di ketebalan 0,06 mm sebesar (25,7%) dan 0,09 mm sebesar (30,8%). Cacat *tearing* merupakan cacat dengan persentase tertinggi kedua diketebalan 0,06 mm dan 0,09 mm. Maka dari itu diperlukan pengurangan resiko timbulnya cacat jenis *tearing*.

Sesuai dengan penelitian A. Fallahi Arezodar (2012) semakin tipis plat semakin besar peluang terjadinya robekan dikarenakan ketika proses pembentukan terjadi akan terjadi penipisan yang dimana penipisan ini menjadi awal dari

timbilnya cacat robek pada *deep drawing*. Oleh karena itu tidak direkomendasikan untuk menggunakan ketebalan *blank* 0,06 mm pada proses *deep drawing* dikarenakan besar kemungkinan terjadinya cacat *cracking*.



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Jenis cacat *deep drawing* yang timbul paling banyak pada ketebalan 0,06 mm dengan lima jenis cacat yaitu *cracking*, *tearing*, *wrinkling*, *fracture*, dan *spring back*. Sedangkan pada ketebalan 0,09 mm timbul cacat *deep drawing* sebanyak empat jenis yaitu *cracking*, *tearing*, *wrinkling*, dan *springback*. Untuk ketebalan 0,12 mm timbul dua jenis cacat yaitu *wrinkling* dan *springback*.
2. Persentase jenis cacat *deep drawing* yang timbul paling banyak pada ketebalan 0,06 mm berjumlah 88 cacat dengan lima jenis cacat yaitu *cracking* (32,4%), *tearing* (25,7%), *wrinkling* (22,9), *fracture* (1,9%), dan *spring back* (17,1%). Sedangkan pada ketebalan 0,09 mm timbul 52 produk cacat *deep drawing* dan timbul sebanyak empat jenis yaitu *cracking* (44,2%), *tearing* (30,8%), *wrinkling* (15,4%), dan *springback* (9,6%). Untuk ketebalan 0,12 mm dengan 20 cacat produk dan timbul dua jenis cacat yaitu *wrinkling* (80%) dan *springback* (20%).

5.2 Saran

Dalam penelitian ini perlu dikembangkan lagi untuk mendapatkan hasil maksimal dalam meminimalisir cacat *deep drawing* dengan menambahkan variabel gaya tekan, kecepatan *deep drawing*, dan diameter *blank*. Agar dapat memenuhi target level 6 sigma dalam penelitian selanjutnya,

DAFTAR PUSTAKA

- Altan, Taylan., Tekkaya, A. Erman. 2012. *Sheet Metal Forming: Fundamentals*. Ohio: ASM International.
- Amin, Qoinul. 2019. Analisis Pengendalian Kualitas Cacat Produk Kaleng Tipe Two Piece Cans 307 Di PT X dengan Menggunakan Metode Six Sigma. *Skripsi*. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Arezodar, A. Fallahi., Eghbali, A. 2012. Evaluation the Parameter Affecting the Distibution of Thickness in Cup Deep Drawing of ST14 Sheet. *Journal of Advanced Science adn Engineering Research Vol 2: No 3*.
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Bhargava, Manish., Gaur, Sanjay. 2020. Process Improvement Using Six-Sigma (DMAIC Process) in Bearing Manufacturing Industry: A Case Study. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 1017: 012034*
- Caesaron, Dino., P. Satenly Yohanes, P. Simatupang. 2015. Implementasi Pendekatan DMAIC untuk Perbaikan Proses Produksi Pipa PVC (Studi Kasus PT. Rusli Vinilon). *Jurnal Metris 16: 91-96*.
- Candrab, Susila., Batan, I Made Londen., Berata, Wajan., Pramono, Agus Sigit. 2015. Analytical study and FEM simulation of the maximum varying blank holder force to prevent cracking on cylindrical cup deep drawing. *Procedia CIRP 26, 548 – 553*.
- de Mast, Jeroen., Lokkerbol, Joran. 2012. An Analysis of The Six Sigma Dmaic Method From The Perspective of Problem Solving. *Int. J. Production Economics 139: 604–614*
- Eugene, D. O. 1967. *Advanced Die Making*. New Jersey: Prentice Hall.
- Gasperz, V. 2002. *Total Quality Management*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Geiger, M., Kleiner, M., Eckstein., Tlesler, N dan Engel, U., 2002, Microforming, *Journal of Materials Processing Technology*, Dortmund, Germany.
- Gunawan, Clara Valentina., Tannady, Hendy. 2016. Analisis Kinerja Proses dan Identifikasi Cacat Dominan pada Pembuatan Bag pengan Metode Statistika Proses Control (Studi Kasus: Pabrik Alat Kesehatan PT. XYZ, Serang, Banten). *Jurnal Teknik Industri Vol XI: 1*
- Hasnan, Ahmad. S. 2006. *Mengenal Proses Deep Drawing*. Jakarta

- Ibrahim, Nurwan Tjadis., Putro, Bramantiyo Eko., Sutoni, Akhmad. 2022. Analisis Rekayasa Kualitas Produk Peralatan Kesehatan dengan Pendekatan DMAIC Metode Six sigma Studi Kasus CV Nuri Teknik. *Jurnal Hasil Penelitian dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*. Vol. 8: No. 2.
- Irawati, Rahmita An'nur., Ismail, Dedy. 2020. Perancangan Perhiasan Berbahan Kuningan Untuk Pengantin Wanita Dengan Inspirasi Bunga Kamperfuli. *Jurnal Kreatif: Desain Produk Industri dan Arsitektur* Vol 10, No 1: 11 – 17
- Irthiea, Ihsan., Green, Graham., Hashim, Safa., Kriama, Abdulbast. 2014. Experimental and numerical investigation on micro deep drawing process of stainless steel 304 foil using flexible tools. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 76: 21–33
- K.S. Prasad, S.K. Panda, S.K. Kar, S.V.S.N.Murty, S.C. Sharma. 2018. Prediction of fracture and deep drawing behavior of solution treated Inconel- 718 sheets: numerical modeling and experimental validation. *Materials Science & Engineering A*. S0921-5093(18): 30923-7.
- Knop, Krzysztof. 2022. Using Six Sigma DMAIC Cycle to Improve Workplace Safety in the Company from Automotive Branch: A Case Study. *Manufacturing Technology*. Vol. 22: No. 3
- Lal, Radha Krishna., Choubey, Vikas Kumar., Dwivedi, J. P., Kumar, Shravan. 2018. Study of factors affecting Springback in Sheet Metal Forming and Deep Drawing Process. *Materials Today: Proceedings* 5: 4353–4358.
- Luo, Liang., Wei, Dongbin., Wang, Xiaogang., Zhou, Cunlong., Huang, Qingxue., Xu, Jianzhong., Wu, Di., Jiang, Zhengyi. 2017. Effects of hydraulic pressure on wrinkling and earing in micro hydro deep drawing of SUS304 circular cups. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* volume 90, pages 189–197.
- Miadi, Abde Dhoni. 2020. Rancang Bangun Cetakan Cup Pada Proses Deep Drawing. *Skripsi*. Medan. Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.
- Pande, P. dan Holpp, L. 2002. *What Is Six sigma*. Yogyakarta: ANDI.
- Polášek, Miroslav., Danko, Matúš. 2021. Comparison And Assessment Of The CuZn30 Brass Structure In The Production Of The 9x19 Luger Cartridge Case. *University Review*, Vol. 15: 39-44.
- R. Diwihagso dan M. Mahardika. 2020. Studi Eksperimental Micro Deep Drawing Sistem Pneumatik dan Analisis Cacat Pada Material Brass 70/30. *Journal of Mechanical Design and Testing* 2(1): 37-45.

- R. Hosseini, A Ebrahimi Mamaghani, A. Asa. 2012. An Invenstigation Into the Effect of Friction and Anisotropy Coefficients and Work haedening Exponent on Deep DrawingWith FEM. *Journal of Advanced Materials adn Processing* Vol. 1, No. 2: 39-49
- S. Ali, S. Hinduja, J. Atkinson, P. Bolt, R. Werkhoven. 2007. The effect of ultra-low frequency pulsations on tearing during deep drawing of cylindrical cups. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 48: 558–564.
- Setiawan, H. 2013. Pengujian Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Produk Cor Propeler Kuningan. *Jurnal Simestris* 3(4): 71-79.
- Sharma, P. C. 2002. *A Textbook of Production Engineering*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd.
- Singh, Anubhav., Basak, Shamik., Lin Prakash P.S., Gour Gopal Roy, Maha Nand Jha, Martin Mascarenhas, Sushanta Kumar Panda. 2018. Prediction of earing defect and deep drawing behavior of commercially pure titanium sheets using CPB06 anisotropy yield theory. *Journal of Manufacturing Processes* 33: 256–267.
- Smętkowska, Monika., Mrugalska, Beata. 2018. Using Six Sigma DMAIC to improve the quality of the production process: a case study. *Social and Behavioral Sciences* 238: 590 – 596.
- Statcenko, Elena., Omarov, Ruslan., Shlykov, Sergei., Nesterenko, Anton., Konieva, Oksana. 2021. Pareto and Ishikawa Diagrams for Identifying the Causes of Defects in Poultry Meat. *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies* Vol 12: No 12.
- Sudira, Tata. Saito , Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya paramita.
- Suherman, Adek., Cahyana, Babay Jutika. 2019. Pengendalian Kualitas dengan Metode Failure Mode Effect And Analyis (FMEA) dan pendekatan Kaizen untuk mengurangi Jumlah Kecacatan dan Penyebabnya. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019*. 16 Oktober 2019. *Jurnal UMJ*. TI-013.
- Sumasto, Fredy., Satria, Putra., Rusmiati, Emi. Implementasi Pendekatan DMAIC untuk Quality Improvement pada Industri Manufaktur Kereta Api. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*. Vol 8: No 2.
- T. Yagami, K. Manabe, Y. Yamauchi. 2007. Effect of alternating blank holder motion of drawing and wrinkle elimination on deep-drawability. *Journal of Materials Processing Technology* 187–188: 187–191.

- Wahyono, Tri. 2008. Analisis Cacat Kerut (*Wrinkling*) pada Tailored welded Blanks Deep Drawing dengan metode Eksperimen. *Skripsi*. Surakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Y. Marumo, H. Saiki, L. Ruan. 2007. Effect of Sheet thickness on Deep Drawing of Metal Foil. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* Vol 20: 1-2
- Yaqoob, Khurram,. Hashmi, Fahim,. Tanveer,. Waqas Hassan. 2022. Failure analysis of cartridge brass shell. *Engineering Failure Analysis*. Volume 138: 106325.
- Zaid, Adnan I. O. 2016. Deep Drawing Mecanism, Paramerets, Defects, and Recent Result: State of the Art. *IOP Conference Searis: Materials Science and Engineering* 146: 012009.
- Zhang, Zicheng., Chen, Ning., Furushima, Tsuyoshi., Li, Bin. 2018. Deformation behavior of metal foil in micro pneumatic deep drawing process. *Procedia Manufacturing* 15: 1422 – 1428.
- Zoesch, Antje. 2015. Zero Defect Manufacturing: Detection of Cracks and Thinning of Material during Deep Drawing Processes. *Procedia CIRP*. 33: 179 – 184.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Jenis Cacat *Deep Drawing* Aksesoris Anting-Anting

a. Crack



b. Winkle



c. Tearing



d. Springback



e. Fracture



Lampiran 2 Komponen *Deep Drawing Press*

a. *Deep Drawing Press*



b. *Die Deep Drawing*



c. *Punch Deep Drawing*



d. Die Blanking



e. Punch Blanking



Lampiran 3 Pehitungan Six Sigma Level

a. Ketebalan 0,06mm

Langkah	Tindakan	Persamaan
1	Proses apa yang ingin diketahui?	<i>Deep drawing</i> ketebalan 0,06 mm
2	Berapa Banyak Produk yang diproduksi?	100
3	Berapa banyak produk yang baik?	12
4	Hitung hasil untuk proses yang diidentifikasi dalam langkah 1	$= \frac{12}{100}$
5	Hitung tingkat cacat berdasarkan langkah 4	$= 1 - \frac{12}{100}$
6	Tentukan CTQ (<i>Critical to Quality</i>) produk cacat	$= 5$
7	Hitung tingkat cacat per karakteristik CTQ	$= \frac{0,88}{5}$
8	Hitung cacat per satu juta kesempatan	$= 0,176 \times 1.000.000$ $= 176.000$
9	Konversi DPMO kedalam nilai sigma	2,43
10	Kesimpulan	<i>Deep drawing</i> ketebalan 0,06 mm tidak kompetitif

Sumber: Gasperzs, 2002.

b. Ketebalan 0,09mm

Langkah	Tindakan	Persamaan
1	Proses apa yang ingin diketahui?	<i>Deep drawing</i> ketebalan 0,09 mm
2	Berapa Banyak Produk yang diproduksi?	100
3	Berapa banyak produk yang baik?	48
4	Hitung hasil untuk proses yang diidentifikasi dalam langkah 1	$= \frac{48}{100}$
5	Hitung tingkat cacat berdasarkan langkah 4	$= 1 - \frac{48}{100}$
6	Tentukan CTQ produk cacat	$= 4$
7	Hitung tingkat cacat per karakteristik CTQ	$= \frac{0,52}{4}$
8	Hitung cacat per satu juta kesempatan	$= 0,13 \times 1.000.000$ $= 130.000$
9	Konversi DPMO kedalam nilai sigma	2,63
10	Kesimpulan	<i>Deep drawing</i> ketebalan 0,09 mm tidak kompetitif

Sumber: Gasperzs, 2002.

c. Ketebalan 0,12mm

Langkah	Tindakan	Persamaan
1	Proses apa yang ingin diketahui?	<i>Deep drawing</i> ketebalan 0,12 mm
2	Berapa Banyak Produk yang diproduksi?	100
3	Berapa banyak produk yang baik?	80
4	Hitung hasil untuk proses yang diidentifikasi dalam langkah 1	$= \frac{80}{100}$
5	Hitung tingkat cacat berdasarkan langkah 4	$= 1 - \frac{80}{100}$
6	Tentukan CTQ produk cacat	$= 2$
7	Hitung tingkat cacat per karakteristik CTQ	$= \frac{0,2}{2}$
8	Hitung cacat per satu juta kesempatan	$= 0,1 \times 1.000.000$ $= 100.000$
9	Konversi DPMO kedalam nilai sigma	2,78
10	Kesimpulan	<i>Deep drawing</i> ketebalan 0,12 mm tidak kompetitif

Sumber: Gasperzs, 2002.

Lampiran 4 Tabel Konversi DPMO ke dalam Nilai Sigma

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
0,00	933.193	0,51	838.913	1,02	684.386	1,53	488.033
0,01	931.888	0,52	836.457	1,03	680.822	1,54	484.047
0,02	930.563	0,53	833.977	1,04	677.242	1,55	480.061
0,03	929.219	0,54	831.472	1,05	673.645	1,56	476.078
0,04	927.855	0,55	828.944	1,06	670.031	1,57	472.097
0,05	926.471	0,56	826.391	1,07	666.402	1,58	468.119
0,06	925.066	0,57	823.814	1,08	662.757	1,59	464.144
0,07	923.641	0,58	821.214	1,09	659.097	1,60	460.172
0,08	922.196	0,59	818.589	1,10	655.422	1,61	456.205
0,09	920.730	0,60	815.940	1,11	651.732	1,62	452.242
0,10	919.243	0,61	813.267	1,12	648.027	1,63	448.283
0,11	917.736	0,62	810.570	1,13	644.309	1,64	444.330
0,12	916.207	0,63	807.850	1,14	640.576	1,65	440.382
0,13	914.656	0,64	805.106	1,15	636.831	1,66	436.441
0,14	913.085	0,65	802.338	1,16	633.072	1,67	432.505
0,15	911.492	0,66	799.546	1,17	629.300	1,68	428.576
0,16	909.877	0,67	796.731	1,18	625.516	1,69	424.655
0,17	908.241	0,68	793.892	1,19	621.719	1,70	420.740
0,18	906.582	0,69	791.030	1,20	617.911	1,71	416.834
0,19	904.902	0,70	788.145	1,21	614.092	1,72	412.936
0,20	903.199	0,71	785.236	1,22	610.261	1,73	409.046
0,21	901.475	0,72	782.305	1,23	606.420	1,74	405.165
0,22	899.727	0,73	779.350	1,24	602.568	1,75	401.294
0,23	897.958	0,74	776.373	1,25	598.706	1,76	397.432
0,24	896.165	0,75	773.373	1,26	594.835	1,77	393.580
0,25	894.350	0,76	770.350	1,27	590.954	1,78	389.739
0,26	892.512	0,77	767.305	1,28	587.064	1,79	385.908
0,27	890.651	0,78	764.238	1,29	583.166	1,80	382.089
0,28	888.767	0,79	761.148	1,30	579.260	1,81	378.281
0,29	886.860	0,80	758.036	1,31	575.345	1,82	374.484
0,30	884.930	0,81	754.903	1,32	571.424	1,83	370.700
0,31	882.977	0,82	751.748	1,33	567.495	1,84	366.928
0,32	881.000	0,83	748.571	1,34	563.559	1,85	363.169
0,33	878.999	0,84	745.373	1,35	559.618	1,86	359.424
0,34	876.976	0,85	742.154	1,36	555.670	1,87	355.691
0,35	874.928	0,86	738.914	1,37	551.717	1,88	351.973
0,36	872.857	0,87	735.653	1,38	547.758	1,89	348.268
0,37	870.762	0,88	732.371	1,39	543.795	1,90	344.578
0,38	868.643	0,89	729.069	1,40	539.828	1,91	340.903
0,39	866.500	0,90	725.747	1,41	535.856	1,92	337.243
0,40	864.334	0,91	722.405	1,42	531.881	1,93	333.598
0,41	862.143	0,92	719.043	1,43	527.903	1,94	329.969
0,42	859.929	0,93	715.661	1,44	523.922	1,95	326.355
0,43	857.690	0,94	712.260	1,45	519.939	1,96	322.758
0,44	855.428	0,95	708.840	1,46	515.953	1,97	319.178
0,45	853.141	0,96	705.402	1,47	511.967	1,98	315.614
0,46	850.830	0,97	701.944	1,48	507.978	1,99	312.067
0,47	848.495	0,98	698.468	1,49	503.989	2,00	308.538
0,48	846.136	0,99	694.974	1,50	500.000	2,01	305.026
0,49	843.752	1,00	691.462	1,51	496.011	2,02	301.532
0,50	841.345	1,01	687.933	1,52	492.022	2,03	298.056

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
2,04	294.598	2,55	146.859	3,06	59.380	3,57	19.226
2,05	291.160	2,56	144.572	3,07	58.208	3,58	18.763
2,06	287.740	2,57	142.310	3,08	57.053	3,59	18.309
2,07	284.339	2,58	140.071	3,09	55.917	3,60	17.864
2,08	280.957	2,59	137.857	3,10	54.799	3,61	17.429
2,09	277.595	2,60	135.666	3,11	53.699	3,62	17.003
2,10	274.253	2,61	133.500	3,12	52.616	3,63	16.586
2,11	270.931	2,62	131.357	3,13	51.551	3,64	16.177
2,12	267.629	2,63	129.238	3,14	50.503	3,65	15.778
2,13	264.347	2,64	127.143	3,15	49.471	3,66	15.386
2,14	261.086	2,65	125.072	3,16	48.457	3,67	15.003
2,15	257.846	2,66	123.024	3,17	47.460	3,68	14.629
2,16	254.627	2,67	121.001	3,18	46.479	3,69	16.262
2,17	251.429	2,68	119.000	3,19	45.514	3,70	13.903
2,18	248.252	2,69	117.023	3,20	44.565	3,71	13.553
2,19	245.097	2,70	115.070	3,21	43.633	3,72	13.209
2,20	241.964	2,71	113.140	3,22	42.716	3,73	12.874
2,21	238.852	2,72	111.233	3,23	41.815	3,74	12.545
2,22	235.762	2,73	109.349	3,24	40.929	3,75	12.224
2,23	232.695	2,74	107.488	3,25	40.059	3,76	11.911
2,24	229.650	2,75	105.650	3,26	39.204	3,77	11.604
2,25	226.627	2,76	103.835	3,27	38.364	3,78	11.304
2,26	223.627	2,77	102.042	3,28	37.538	3,79	11.011
2,27	220.650	2,78	100.273	3,29	36.727	3,80	10.724
2,28	217.695	2,79	98.525	3,30	35.930	3,81	10.444
2,29	214.764	2,80	96.801	3,31	35.148	3,82	10.170
2,30	211.855	2,81	95.098	3,32	34.379	3,83	9.903
2,31	208.970	2,82	93.418	3,33	33.625	3,84	9.642
2,32	206.108	2,83	91.759	3,34	32.884	3,85	9.387
2,33	203.269	2,84	90.123	3,35	32.157	3,86	9.137
2,34	200.454	2,85	88.508	3,36	31.443	3,87	8.894
2,35	197.662	2,86	86.915	3,37	30.742	3,88	8.656
2,36	194.894	2,87	85.344	3,38	30.054	3,89	8.424
2,37	192.150	2,88	83.793	3,39	29.379	3,90	8.198
2,38	189.430	2,89	82.264	3,40	28.716	3,91	7.976
2,39	186.733	2,90	80.757	3,41	28.067	3,92	7.760
2,40	184.060	2,91	79.270	3,42	27.429	3,93	7.549
2,41	181.411	2,92	77.804	3,43	26.803	3,94	7.344
2,42	178.786	2,93	76.359	3,44	26.190	3,95	7.143
2,43	176.186	2,94	74.934	3,45	25.588	3,96	6.947
2,44	173.609	2,95	73.529	3,46	24.998	3,97	6.756
2,45	171.056	2,96	72.145	3,47	24.419	3,98	6.569
2,46	168.528	2,97	70.781	3,48	23.852	3,99	6.387
2,47	166.023	2,98	69.437	3,49	23.295	4,00	6.210
2,48	163.543	2,99	68.112	3,50	22.750	4,01	6.037
2,49	161.087	3,00	66.807	3,51	22.215	4,02	5.868
2,50	158.655	3,01	65.522	3,52	21.692	4,03	5.703
2,51	156.248	3,02	64.256	3,53	21.178	4,04	5.543
2,52	153.864	3,03	63.008	3,54	20.675	4,05	5.386
2,53	151.505	3,04	61.780	3,55	20.182	4,06	5.234
2,54	149.170	3,05	60.571	3,56	19.699	4,07	5.085

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
4,08	4.940	4,59	1.001	5,10	159	5,61	20
4,09	4.799	4,60	968	5,11	153	5,62	19
4,10	4.661	4,61	936	5,12	147	5,63	18
4,11	4.527	4,62	904	5,13	142	5,64	17
4,12	4.397	4,63	874	5,14	136	5,65	17
4,13	4.269	4,64	845	5,15	131	5,66	16
4,14	4.145	4,65	816	5,16	126	5,67	15
4,15	4.025	4,66	789	5,17	121	5,68	15
4,16	3.907	4,67	762	5,18	117	5,69	14
4,17	3.793	4,68	736	5,19	112	5,70	13
4,18	3.681	4,69	711	5,20	108	5,71	13
4,19	3.573	4,70	687	5,21	104	5,72	12
4,20	3.467	4,71	664	5,22	100	5,73	12
4,21	3.364	4,72	641	5,23	96	5,74	11
4,22	3.264	4,73	619	5,24	92	5,75	11
4,23	3.167	4,74	598	5,25	88	5,76	10
4,24	3.072	4,75	577	5,26	85	5,77	10
4,25	2.980	4,76	557	5,27	82	5,78	9
4,26	2.890	4,77	538	5,28	78	5,79	9
4,27	2.803	4,78	519	5,29	75	5,80	9
4,28	2.718	4,79	501	5,30	72	5,81	8
4,29	2.635	4,80	483	5,31	70	5,82	8
4,30	2.555	4,81	467	5,32	67	5,83	7
4,31	2.477	4,82	450	5,33	64	5,84	7
4,32	2.401	4,83	434	5,34	62	5,85	7
4,33	2.327	4,84	419	5,35	59	5,86	7
4,34	2.256	4,85	404	5,36	57	5,87	6
4,35	2.186	4,86	390	5,37	54	5,88	6
4,36	2.118	4,87	376	5,38	52	5,89	6
4,37	2.052	4,88	362	5,39	50	5,90	5
4,38	1.988	4,89	350	5,40	48	5,91	5
4,39	1.926	4,90	337	5,41	46	5,92	5
4,40	1.866	4,91	325	5,42	44	5,93	5
4,41	1.807	4,92	313	5,43	42	5,94	5
4,42	1.750	4,93	302	5,44	41	5,95	4
4,43	1.695	4,94	291	5,45	39	5,96	4
4,44	1.641	4,95	280	5,46	37	5,97	4
4,45	1.589	4,96	270	5,47	36	5,98	4
4,46	1.538	4,97	260	5,48	34	5,99	4
4,47	1.489	4,98	251	5,49	33	6,00	3
4,48	1.441	4,99	242	5,50	32		
4,49	1.395	5,00	233	5,51	30		
4,50	1.350	5,01	224	5,52	29		
4,51	1.306	5,02	216	5,53	28		
4,52	1.264	5,03	208	5,54	27		
4,53	1.223	5,04	200	5,55	26		
4,54	1.183	5,05	193	5,56	25		
4,55	1.144	5,06	185	5,57	24		
4,56	1.107	5,07	179	5,58	23		
4,57	1.070	5,08	172	5,59	22		
4,58	1.035	5,09	165	5,60	21		

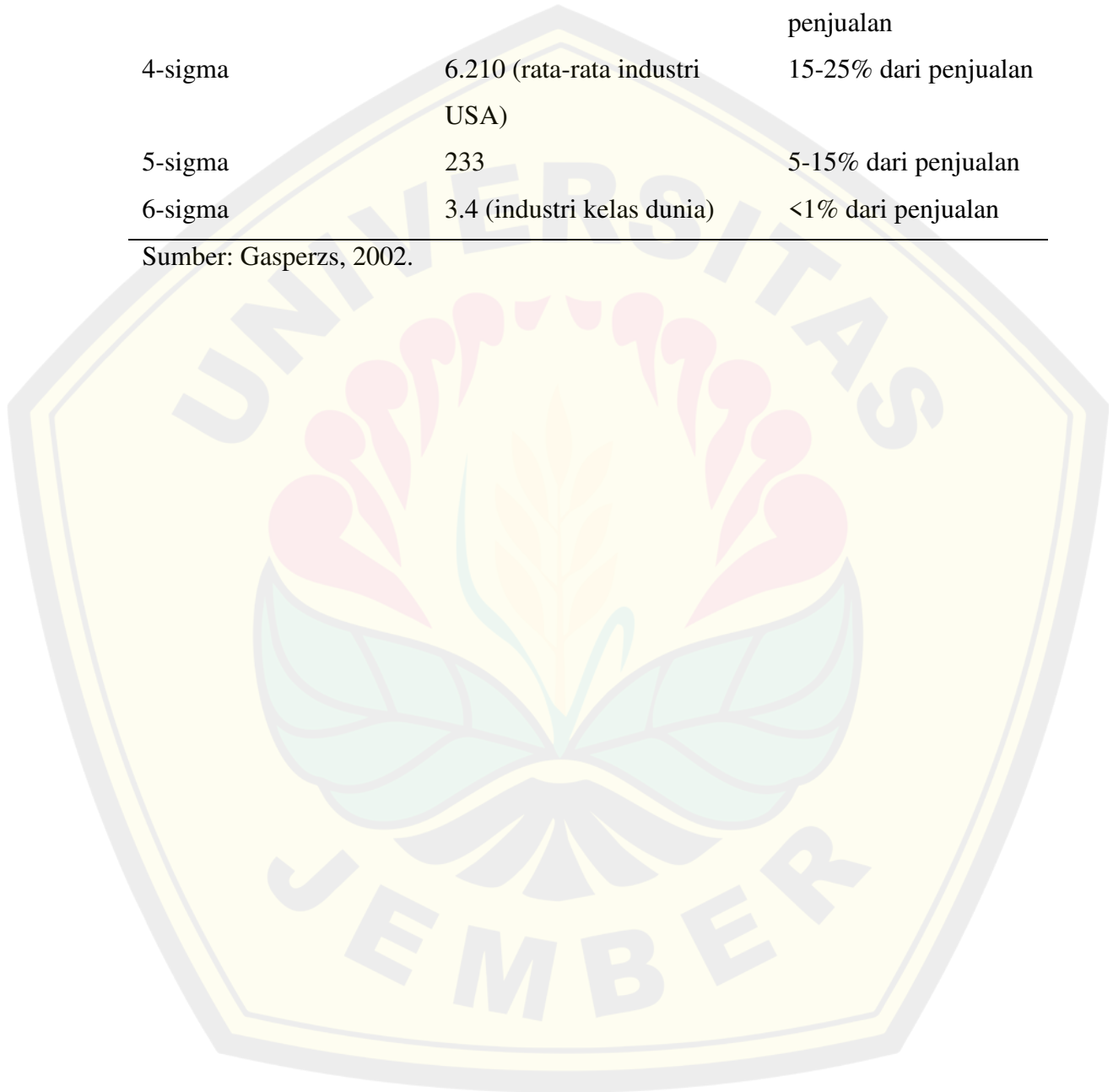
Catatan: Tabel konversi ini Mencakup pengeseran 1,5-sigma untuk semua nilai Z

Sumber: Gasperzs, 2002.

Lampiran 5 Tabel Manfaat dan Pencapaian Tingkat Sigma

Tingkat pencapaian sigma	DPMO	COPQ
2-sigma	308.537 (tidak kompetitif)	Tidak dapat dihitung
3-sigma	66.810	25-40 % dari penjualan
4-sigma	6.210 (rata-rata industri USA)	15-25% dari penjualan
5-sigma	233	5-15% dari penjualan
6-sigma	3.4 (industri kelas dunia)	<1% dari penjualan

Sumber: Gasperzs, 2002.



Lampiran 6 Perhitungan Poses *Deep Drawing* Aksesoris Anting-Anting

Pehitungan gaya *deep drawing*

$$F_z = \pi \times d \times S_0 \times \sigma_B \times \alpha$$

Keterangan:

F_z : Gaya *deep drawing* (N)

d : Diameter benda (mm)

S_0 : tebal material (mm)

σ_B : tegangan patah tarik (N/mm)

α : faktor koreksi (antara 0,8-1)

Sumber (Qoyinul Amin, 2019)

1. Ketebalan 0,06mm

$$F_z = \pi \times d \times S_0 \times \sigma_B \times \alpha$$

$$F_z = 3,14 \times 7 \times 0,06 \times 403,23 \times 1$$

$$F_z = 531,77 \text{ N}$$

2. Ketebalan 0,09mm

$$F_z = \pi \times d \times S_0 \times \sigma_B \times \alpha$$

$$F_z = 3,14 \times 7 \times 0,09 \times 403,23 \times 1$$

$$F_z = 797,66 \text{ N}$$

3. Ketebalan 0,12mm

$$F_z = \pi \times d \times S_0 \times \sigma_B \times \alpha$$

$$F_z = 3,14 \times 7 \times 0,12 \times 403,23 \times 1$$

$$F_z = 1063,55 \text{ N}$$

Berdasarkan perhitungan pada ketebalan 0,06 mm dibutuhkan gaya sebesar 531,77 N, ketebalan 0,09 mm dibutuhkan gaya sebesar 797,66 N, dan pada ketebalan 0,12 mm dibutuhkan gaya sebesar 1063,55 N. *Deep drawing* konvensional menggunakan kekuatan lengan untuk memberikan gaya tekan pada

proses *deep drawing*. Dari penelitian (J. K. Awang, 2017) Rata-rata kekuatan lengan orang pria dewasa sebesar 311,8 N.

Dapat disimpulkan dari ketiga gaya yang diperlukan dan gaya yang diberikan pada proses *deep drawing* masih belum memenuhi syarat untuk gaya yang diberikan terlalu kecil dari pada gaya yang dibutuhkan.



Lampiran 7 Cacat Springback

Pada penelitian Imanol Gil et al (2016) ditemukan cacat springback kisaran 20-25% dari produk drawing. Maka dikatakan cacat springback jika tinggi draw piece < 2,30 mm / 20% dari tinggi draw piece sesuai die adalah 2,8 mm.

Jumlah produk yang mengalami Springback

No.	Ketebalan	Jumlah produk cacat
1.	0,06 mm	18
2.	0,09 mm	5
3.	0,12 mm	4
Jumlah		27

