

Parametric Study on Combination Tool of Forming Limit Diagram: Case Study on Non-Cylinder Air Vent

Riona Ihsan Media^{1,*}, Riky Adhiharto¹ dan Endjang Patriatna¹

¹Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung - Bandung

*Korespondensi: rio.sanmed@gmail.com

Abstract. Air vent non-cylinder is a component of air ventilation that serves to stream air from inside the room of office buildings and factories. This product is made of sheet metal with material Al6111 and formed by presstool. Initially, the manufacture is only relying on single-tool which is divided into two stages. The first stage, consists of three processes (blanking, deep drawing 1 and 2) while the second stage is only parting. The single-tool has many parameters that need to be set so that it is not efficient. In this paper, a design of tool that can combine cutting and forming is proposed. The design begins with identifying the steps of making the product up to produce the draft design. In designing of a tool, it is necessary to consider the cutting parameters such as die penetration and clearance whereas forming consisting of product stretch, process stages, and clearance. 3D modeling of product is made for the fixed-blank analysis using simulation software to obtain the required stretch by considering the material of Al6111 based on the forming limit diagram (FLD). The FLD can predict the success or failure of material-forming during the forming process. The calculation of the stretch is done gradually and verified by the software to obtain the product depletion parameters of 20% of the initial thickness and the total force for combination tool is about 97.5 tons. Draft design of combination tool is selected with inverted system based on alternatives.

Abstrak. Air vent non-cylinder merupakan komponen ventilasi udara yang berfungsi mengalirkan udara dari dalam ruangan yang dipasang pada dinding-dinding luar gedung perkantoran dan pabrik. Produk ini terbuat dari lembaran logam dengan material Al6111 dengan menggunakan *press-tool*. Pada awalnya, pembuatan hanya mengandalkan *single-tool* yang dibagi menjadi dua tahapan yaitu pertama terdiri dari tiga proses (*blanking*, *deep drawing* 1 dan 2) sedangkan tahap kedua adalah *parting*. Pada *single-tool* memiliki parameter-parameter yang perlu diatur sehingga tidak efisien. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *tool* yang dapat menggabungkan *cutting* dan *forming*. Perancangan dimulai dengan mengidentifikasi tahapan pembuatan produk sampai dengan menghasilkan *draft* rancangan. Dalam merancang *press-tool* perlu memperhatikan parameter-parameter *cutting* diantaranya *die penetration* dan *clearance* serta *forming* yang terdiri dari bentangan produk, tahapan proses, dan *clearance*. Pemodelan 3D produk dibuat untuk analisis bentangan awal (*fix blank*) menggunakan simulasi *software* sehingga didapatkan bentangan yang diperlukan dengan memperhatikan batas mampu-bentuk Al6111 berdasarkan pada *forming limit diagram* (FLD). FLD tersebut dapat memperkirakan berhasil atau tidaknya mampu-bentuk material selama proses *forming*. Perhitungan bentangan dilakukan secara bertahap serta diverifikasi oleh software sehingga didapat parameter penipisan produk sebesar 20% dari ketebalan awal serta gaya total *combination tool* sebesar 97,5 ton. *Draft* perancangan *combination tool* jenis *inverted tool* dipilih berdasarkan alternatif-alternatif yang dibuat.

Kata kunci: combination tool, cutting, forming, forming limit diagram, press tool.

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Daerah di Indonesia kebanyakan kurang memberikan kenyamanan karena udaranya panas (23-34°C), kotor (berdebu, berasap) dan arah angin yang tidak menentu, khususnya pada bangunan tinggi dimana pergerakkan angin sangat cepat. Karena keadaan alam yang demikian, maka diperlukan suatu cara untuk mendapatkan kenyamanan dengan menggunakan sistem pengondisian udara. Sistem tata udara adalah suatu proses mendinginkan/memanaskan udara sehingga dapat mencapai suhu dan kelembaban yang diinginkan/diper-syaratkan

serta mempunyai fungsi untuk mengatur aliran udara dan kebersihannya.

Tata udara meliputi aspek yang lebih luas, sasarannya tidak hanya memberikan rasa sejuk belaka, tetapi kenyamanan, kebersihan udara serta kondisi tertentu untuk keperluan proses di industri atau transportasi. Ada enam aspek yang menjadi tanggung jawab ahli tata udara terdiri dari temperatur, kelembapan, gerakan aliran, kadar oksigen serta gas-gas beracun, debu/ aroma tidak sedap, dan suara. Salah satu produk untuk keperluan tata udara adalah produk *air vent cap*. Produk tersebut dipa-

sang pada dinding-dinding luar bangunan seperti gedung perkantoran dan pabrik seperti yang terlihat pada gambar 1. Fungsi dari produk ini adalah untuk mengeluarkan udara dari saluran udara.

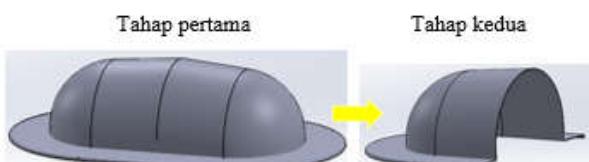


Gambar 1. Pemasangan produk

Produk *air vent cap* umumnya berbentuk silinder atau persegi. Produk *air vent non-cylinder* ini termasuk kedalam jenis *rain cover* ventilasi udara serta merupakan hasil optimasi dari produk *air vent* bentuk bundar seperti yang terlihat pada Gambar 2. Produk ini tidak memiliki leher pada lubang pasangannya yang tidak akan menyulitkan saat pemasangan pipa.



Gambar 2. Produk *air vent non-cylinder*



Gambar 3. Produk akhir tahap pertama dan tahap kedua

Proses pembuatan produk *air vent non-cylinder* yang terbagi menjadi dua tahap (lihat gambar 3). Tahap pertama terdiri dari tiga proses, yaitu *blanking*, *deep drawing 1*, dan *deep drawing 2* sehingga membutuhkan tiga buah *tool* yang termasuk ke dalam *unit tool*. Pada tahap kedua hanya terdiri dari satu proses, yaitu *parting* yang membutuhkan satu buah *tool*. Tahap pertama pembuatan produk *air vent non-cylinder* menjadi dasar tujuan penelitian ini dengan mereduksi tiga buah *tool* menjadi satu buah *tool* dengan urutan proses yang sama dengan merancang *combination tool*.

Analisis permasalahan pada penulisan karya tulis ini bertujuan untuk menghasilkan rancangan *combination tool* untuk mengurangi jumlah *tool* pada proses pembuatan produk *air vent non cylinder* tahap pertama. Serta mendapatkan bentuk *fix blank* dari produk akhir *air vent non cylinder* tahap pertama.

Studi Literatur

Sheet metal forming

Proses manufaktur adalah suatu proses yang dilakukan untuk merubah bahan mentah menjadi bahan setengah jadi maupun barang jadi melalui tahapan proses, penanganan material, peralatan dan operasi, yang bertujuan untuk meningkatkan nilai guna dan juga nilai ekonomis produk tersebut [1].

Sheet metal forming adalah salah satu klasifikasi dari proses manufaktur yang membentuk sebuah lembaran logam yang bertindak sebagai benda kerja hingga menjadi produk *pressed part* yang diinginkan melalui serangkaian proses *cutting* bahan dengan memanfaatkan gaya geser dan/atau proses pembentukan material (*forming*) dimana gaya yang diterapkan menyebabkan material yang plastis berubah bentuk, tetapi tidak sampai gagal (terpotong atau sobek/cracking).

Sheet metal dapat diproses menjadi hampir semua bentuk yang diinginkan dengan cara *cutting*, *bending* dan *stretched*. Proses removal material (*shearing*, *cut-off*, *part-off*) dapat membuat lubang dan sobekan dalam setiap bentuk geometris 2D, hasil pada proses ini bisa dijadikan bahan awal untuk proses selanjutnya atau sebagai produk yang diinginkan. Proses deformasi (*bending* dan *drawing*) dapat dilakukan untuk membentuk *sheet metal* dalam beberapa kali penekukan untuk sudut yang berbeda-beda atau meregangkan (*stretch*) *sheet metal* untuk membuat kontur yang lebih kompleks [2].

Pengelompokan proses *sheet metal forming* untuk *pressed part* dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu *cutting material* dan *forming material* [3].

Press tool

Press tool adalah suatu alat yang digunakan untuk pengrajan pemotongan dan pembentukan *sheet metal* menjadi barang produksi yang diinginkan dengan bantuan penekanan. *Press tool* dapat menghasilkan produk secara masal dengan kualitas yang seragam dan waktu yang relatif singkat. *Press tool* memiliki beberapa keuntungan, antara lain dapat digunakan untuk membuat produk secara masal, dapat menghasilkan produk dengan bentuk dan ukuran yang seragam dan biaya lebih ekonomis dalam pembuatan produk masal [4].

Berdasarkan pengertian diatas *press tool* sangat cocok untuk memproduksi suatu benda kerja yang memiliki bentuk dan ukuran yang sama dalam waktu yang relatif singkat jika dibandingkan dengan pembuatan produk mesin perkakas yang dikerjakan secara berurutan dari mesin satu ke mesin yang lain. Prinsip kerja dari *press tool* menggunakan metode tumbukan antara cetakan

(*dies*) dengan stempel (*punch*). Posisi benda adalah antara *punch* dan *dies*. Biasanya dalam setiap proses benda kerja dijepit oleh *stripper* yang menggunakan gaya pegas [5].

Klasifikasi press tool

➤ Jenis konstruksi *press tool* [4,5]

1) *Press tool* pemotongan (*cutting tool*)

a) Pemotongan tunggal (*single cutting tool*).

Pemotongan tunggal adalah proses pemotongan yang terdiri dari satu jenis pemotongan pada sebuah *tool*, seperti *blanking tool*, *piercing tool*, *notching tool*, *parting tool*, *cropping tool*, *trimming tool*, *shaving tool*, *lanzing tool*, dan *broaching tool*.

b) Pemotongan majemuk (*progressive tool*).

Pemotongan majemuk adalah campuran dari berbagai operasi pemotongan *station* tunggal dan dikelompokkan ke dalam satu kesatuan *tool* yang sama.

c) Pemotongan kombinasi (*compound tool*, *gang tool*, dan *group tool*).

Compound tool adalah *tool* yang menggabungkan dua atau lebih *tool* proses pemotongan secara bertahap pada *station* yang sama dalam satu kali operasi (*stroke*).

Gang tool adalah proses pemotongan dua buah produk yang sama dan sejenis dalam satu *tool*, satu kali lintasan, dan satu kali *stroke* operasi.

Group tool adalah gabungan dua buah proses sejenis atau berbeda dalam satu *tool* dan umumnya merupakan proses bertahap pada satu buah produk.

2) *Press tool* pembentukan (*non-cutting tool*)

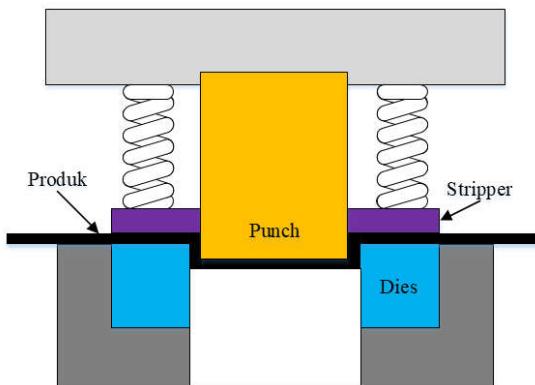
➤ Jenis *press tool* berdasarkan arah kerja

1) *Push through tool*.

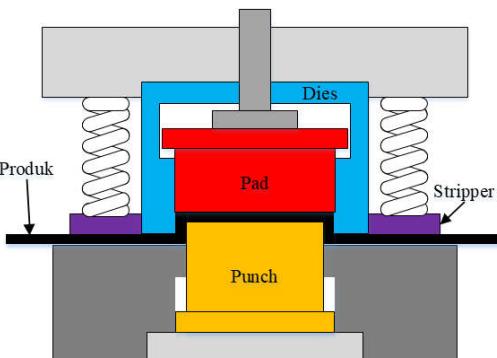
Push through tool adalah jenis *press tool* dengan posisi *punch* pada bagian atas *tool* dan posisi *dies* pada bagian bawah *tool*.

2) *Inverted tool*

Inverted tool adalah jenis *press tool* dengan *dies* pada bagian atas *tool* dan posisi *punch* pada bagian bawah *tool*.



Gambar 5. Konstruksi *push through tool*

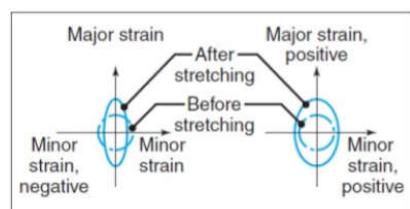


Gambar 6. Konstruksi *inverted tool*

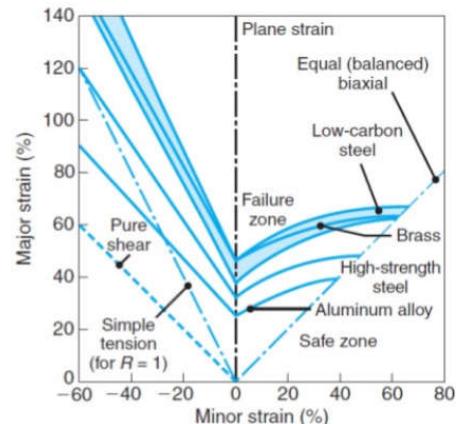
Forming Limit Diagram (FLD)

Forming limit diagram (FLD) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengetahui batas mampu-bentuk pelat logam, dengan menentukan regangan maksimumnya. Regangan maksimum ini dapat ditentukan dengan mengukur nilai regangan saat material mengalami kegagalan seperti *necking*, *fracture*, *wrinkling*, dan sebagainya. Konsep *forming limit diagram* dan metode analisis regangan diperkenalkan oleh Keeler dan Goodwin menggunakan teknik *grid*.

Keeler adalah orang pertama yang memperkenalkan konsep *forming limit diagram* pada tahun 1965. Keeler menggambarkan sebuah kurva hubungan regangan mayor (*major strain*) terhadap regangan minor (*minor strain*) material pada sisi sebelah kanan bidang koordinat dari hasil pengukuran pelat logam yang patah atau retak. Goodwin membuat kurva pada sisi sebelah kiri bidang koordinat pada tahun 1968 yang membuat *forming limit diagram* menjadi lengkap [6].



Gambar 7. Minor strain dan major strain



Gambar 8. *Forming limit diagram* (FLD)

Major strain adalah besar regangan pelat logam ke arah vertikal akibat tarikan dan tekanan. *Minor strain* adalah besar regangan pelat logam ke arah *horizontal* akibat tarikan seperti yang terlihat pada Gambar 7. Pada *forming limit diagram* dapat diketahui:

- Jangkauan faktor keamanan jenis material tertentu untuk proses *deep drawing*
- Zona kritis dimana *necking* dan *fracture* sering terjadi.
- Tingkat regangan (*strain level*)
- Kondisi kerja yang sesuai seperti penentuan *blank holding*, pelumasan, dan sebagainya.

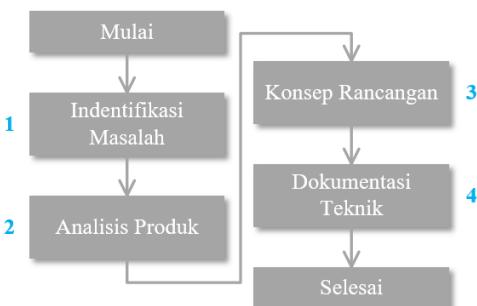
Perbandingan regangan maksimum produk dengan *forming limit diagram* (Gambar 8) dapat mengestimasi terjadinya kegagalan atau tidak selama proses *forming* yang membantu perancang untuk memperbaiki proses *forming* [7]. Apabila regangan maksimum material melebihi batas kurva mampu-bentuknya, maka perbaikan dapat dilakukan terhadap hal-hal berikut:

- Parameter kondisi kerja press tool, seperti *blank holding*, dan pelumasan.
- Desain produk, misalnya dengan merubah *fillet*, *radius*, dan sudut produk.
- Material (kualitas, jenis dan ketebalan).

Metodologi

Dalam upaya mencapai tujuan penelitian ini, maka dibuatlah tahapan proses seperti pada gambar 9 yang dimulai dari identifikasi produk, analisis kebutuhan serta mencari pengaruh parameter terhadap mampu bentuk material yang disajikan dalam bentuk FLD.

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan, selanjutnya proses pembuatan konsep alternatif rancangan *combination tool* disertai dengan perhitungan parameter-parameter dasar yang berkaitan dengan proses manufaktur.



Gambar 9. Diagram alir proses penelitian

1. Identifikasi produk

Proses ini melibatkan penentuan jenis material yang digunakan, urutan proses pengrajaan, serta analisis kebutuhan sehingga menjadi data spesifikasi produk seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi produk *air vent*

No.	Parameter	Nilai
1	Material	Al6111
2	Dimensi	485,5x281x110,61 mm
3	Tebal	1 mm
4	Tegangan Maks.	280 N/mm ²
5	Luas bentangan	164,6 mm ²

2. Analisis proses

Pada tahapan analisis proses, data-data berkaitan dengan pengaruh pembentukkan material berdasarkan FLD diatur menggunakan software sehingga didapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan. gambar 10a. menunjukkan tahapan dari analisis produk yang dimulai dari mempersiapkan model 3D *Surface*, penentuan parameter analisis, dan pembacaan hasil dari simulasi *software*. Tahap pertama dilakukan pembuatan model disertai dengan pengecekan dimensi produk dan perkiraan tahapan proses pembentukkan.

Tahapan berikutnya merupakan penentuan parameter analisis yang diperlukan seperti ketebalan produk, kerutan serta daerah kritis produk. Penampilan hasil serta pembacaannya merupakan tahapan terakhir dari proses analisis produk diantaranya adalah distribusi ketebalan, kerutan (*wrinkling*) serta daerah kritis, dan nilai batasan mampu bentuk dari material produk.

3. Pembuatan konsep rancangan

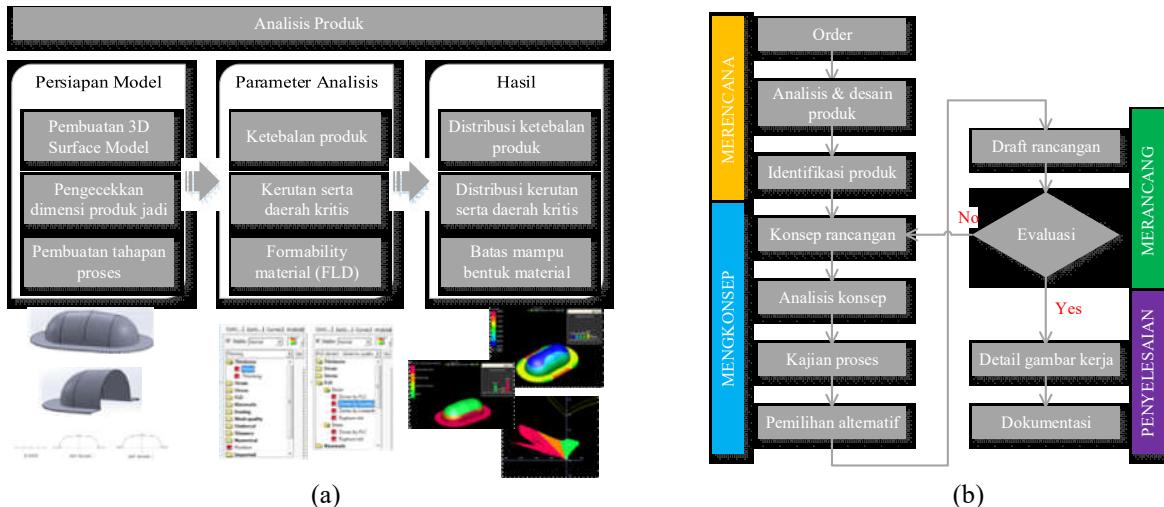
Pada tahapan pembuatan konsep, metode *VDI 2222* digunakan sebagai referensi untuk pembuatan rancangan *press-tool* dimulai dari proses merencana sampai dengan tahapan penyelesaian yang terdiri dari pembuatan draft rancangan *combination tool* dengan melibatkan alternatif-alternatif rancangan serta pengambilan keputusan pada setiap fungsi komponennya seperti yang terlihat pada gambar 10b.

4. Dokumentasi teknik

Hasil dari konsep rancangan yang dilakukan kajian dan penilaian konstruksi berdasarkan parameter fungsi, keterbuatan, serta perawatan. Tahap akhir dari proses perancangan berupa gambar *draft combination tool*.

Hasil dan Pembahasan

Analisis bentangan produk dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu perhitungan luas bentangan hasil simulasi *software* sebesar 164.645,3 mm² dan perhitungan bentangan secara manual sebesar 164.444,38 mm² sehingga didapatkan penyimpangan sebesar 0,1%. Gambar 11 merupakan hasil dari bentukkan *fix blank* sebagai bentangan awal produk.

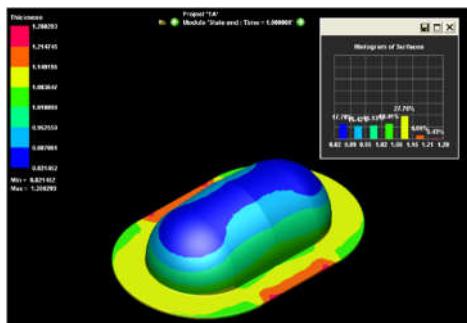


Gambar 10. a) Tahapan proses analisis produk, b) Diagram alir proses perancangan konsep *combination tool*



Gambar 11. Bentuk bentangan

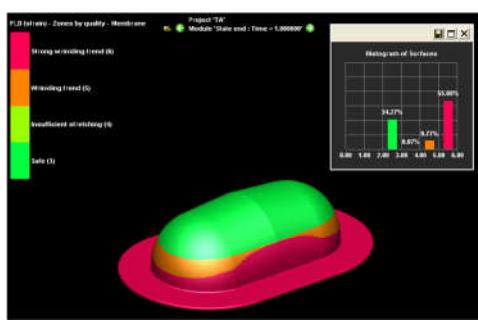
Tahap selanjutnya adalah analisis pembentukan produk dengan menggunakan simulasi *software* modul *inverse* seperti pada gambar 12 dan 13 yang terdiri dari analisis distribusi ketebalan material serta distribusi kerutan (*wrinkling*).



Gambar 12. Distribusi ketebalan material

Keterangan:

- : Daerah produk yang mengalami kerutan dengan tebal material sebesar 1,2 mm.
- : Daerah produk yang mengalami penipisan ketebalan produk dengan tebal material sebesar 0,8 mm.



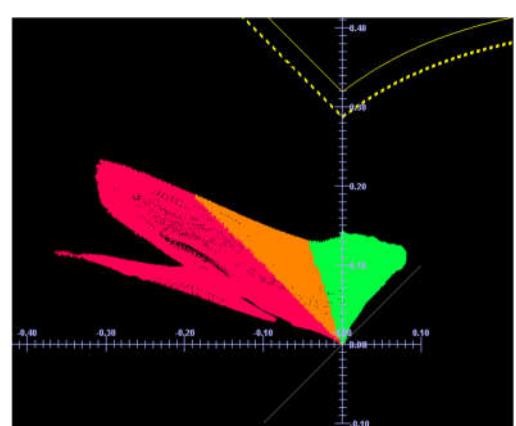
Gambar 13. Analisis kerutan (*wrinkling*)

Keterangan:

- : Daerah produk yang mengalami kerutan yang kuat.
- : Daerah produk yang mengalami kerutan sedang.
- : Daerah produk yang mengalami tarikan yang kuat.
- : Daerah produk yang aman, tidak terjadi kerutan.

Hasil analisis FLD pada gambar 14 dapat dilihat bahwa produk berada di bawah kurva *forming limit diagram* atau berada pada daerah mampu bentuk logam. Sehingga produk dengan material Al6111 dapat dibentuk.

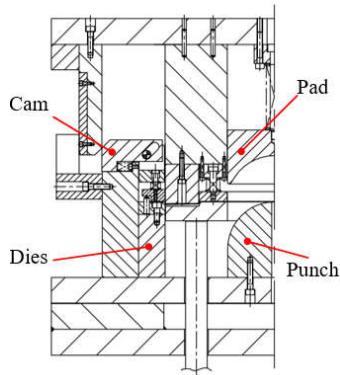
Setelah dilakukan analisis mampu bentuk produk dengan material Al6111, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan konsep rancangan *combination tool*. Dalam mengonsep rancangan, penentuan alternatif konsep rancangan menggunakan jenis konstruksi *inverted tool* yang dilengkapi dengan *independent stripper* menggunakan mekanisme *cam*.



Gambar 14. Diagram FLD untuk material Al6111

Konstruksi *inverted tool* terpilih berdasarkan pertimbangan fungsionalitas dan efisiensi kompo-

nen dibandingkan dengan konstruksi *push-through tool* (lihat gambar 15).



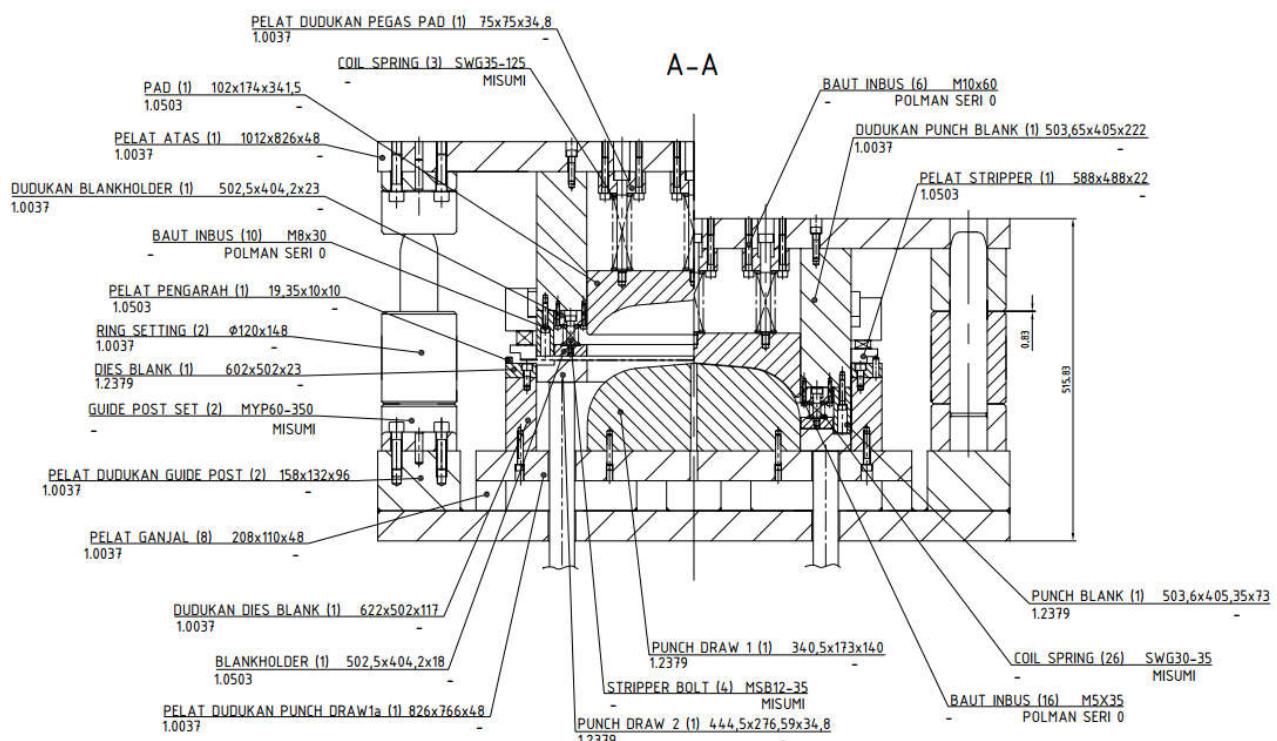
Gambar 15. Konstruksi *inverted tool*

Hasil akhir dari proses perancangan adalah adanya gambar draft rancangan yang terlihat pada gambar 16 yang merupakan tahap penyelesaian pada metode perancangan untuk *combination tool* menggunakan VDI 2222.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, maka terdapat tiga kesimpulan diantaranya:

1. Diagram batasan mampu bentuk material (*Forming Limit Diagram*) dapat dijadikan dasar perkiraan dalam proses perancangan sebelum melakukan eksperimen pada material-material tertentu.



Gambar 16. Draft rancangan *combination tool*

2. Bentuk *fix blank* produk akhir *air vent non-cylinder* tahap pertama yang merupakan penentuan bentangan produk dapat diperkirakan menggunakan *software* dengan penyimpangan sebesar 0,1% sehingga dapat dijadikan alat untuk mempermudah dalam memperkirakan bentangan produk.
3. Dihasilkan rancangan *combination tool* dengan dimensi 1012 x 826 x 516 mm dan gaya *tool* sebesar 97,5 ton.

Referensi

- [1] Schey, J.A., 2000. Introduction to Manufacturing Processes 3rd Ed., McGraw-Hill, USA.
- [2] Kalpakjian, S., 1995. Manufacturing Engineering and Technology 3rd Ed., Prentice Hall, USA.
- [3] Adhiharto, R. dkk., 2012. Pengembangan Model Penilaian Kompleksitas Proses Manufaktur Produk *Pressed Part*. Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI dan Thermofluid IV, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Budiarto, 1997. Press tool 1-3, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung, Bandung
- [5] Theryo, R.S., 2009. Teknologi Press Dies, Kanisius, Yogyakarta.

- [6] Chen, J. and Zhou, X., 2016. A New Curve Fitting Method for Forming Limit Experimental Data, *Journal of Material Science Technology*, Vol. 21 No. 4.
- [7] Viatkina, E.M. et al., 2016. Forming Limit Diagrams for Sheet Deformation Processes, *Technische Universiteit Eindhoven*, Nether-land.