

## OPTIMASI GASIFIKASI SEKAM PADI TIPE *FIXED BED DOWNDRAFT* DENGAN MEMVARIASIKAN HISAPAN BLOWER SUPAYA MENGHASILKAN KANDUNGAN TAR SESUAI STANDAR

**Samsul Maarif, Sorimuda Harahap**

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila Jakarta

E-mail: maarif.sem@gmail.com

**Abstrak**--Sekam padi merupakan salah satu biomassa yang memiliki potensi energi sebesar 3,84 GW. Dengan proses gasifikasi biomassa, sekam padi bisa menghasilkan energi. Pada beberapa aplikasi yang menggunakan gas hasil gasifikasi sebagai sumber energi, terdapat standar untuk jumlah tar yang diijinkan sebelum masuk ke mesin atau engine. Untuk mengetahui jumlah tar yang dihasilkan pada proses gasifikasi dengan bahan bakar sekam padi, maka dibutuhkan alat ukur atau pengukuran pada gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Penelitian ini menggunakan sistem fixed bed downdraft gasifier. Dengan memvariasikan hisapan blower supaya diketahui titik optimum dan menghasilkan kandungan tar sesuai standar. Hisapan blower yang berbeda, didapatkan temperatur titik kondensasi tar yang berbeda. Karena perbedaan temperatur, didapatkan kandungan tar sebelum dan sesudah filtering mengalami penurunan. Hasilnya, saat  $n = 846$  rpm kandungan tar sebelum filtering yaitu,  $12,92 \text{ mg/m}^3$ . Sedangkan kandungan tar setelah filtering yaitu,  $5,97 \text{ mg/m}^3$ . Saat hisapan blower dinaikan maka kandungan tar akan bertambah karena pengaruh dari pressure drop.

**Kata kunci:** gasifikasi biomassa, fixed bed downdraft, tar, pirolisis, sekam padi

**Abstract**--Rice husk is one of the biomass that has energy potential of 3,84 GW. With biomass gasification process, rice husk can produce energy. In some applications that use gasification gas as an energy source, there is a standard for the amount of tar allowed before entering the engine or engine. To find out the amount of tar generated in the process of gasification with rice husk fuel, the required measuring instrument or measurement on the gas resulting from the gasification process. This research uses fixed bed downdraft gasifier system. By varying the suction blower to determine the optimum point and produce the tar content according to the standard. Different sucking blowers, obtained different pyrolysis temperature. Due to the temperature difference, the tar content before and after the filtering decreased. The result, when  $n = 846$  rpm of tar content before filtering ie,  $12.92 \text{ mg / m}^3$ . While the tar content after filtering that is,  $5.97 \text{ mg / m}^3$ . when the suction blower increased then the tar content will increase due to the influence of pressure drop.

**Keywords:** biomass gasification, fixed bed downdraft, tar, pyrolysis, rice husk

### 1. PENDAHULUAN

Sekam padi, salah satu tipe biomassa, merupakan limbah hasil proses penggilingan padi. Sekam padi hampir seragam dari sisi bentuk dan ukuran, serta sesuai untuk diproses lagi. Akan tetapi, sekam padi mempunyai struktur yang keras dan kurang cocok untuk fermentasi, karena kadar lignin dan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang tinggi (Asian Biomass Handbook, 2012). Saat ini, dengan meningkatnya kebutuhan untuk memanfaatkan residu menjadi energi (*waste to energy*), banyak periset yang fokus dalam riset untuk mengubah sekam padi menjadi bahan bakar. Gasifikasi biomassa dengan sekam padi merupakan salah satu energi terbarukan yang kemungkinan besar bisa berkembang di negara agraris seperti Indonesia. Potensi energi biomassa di Indonesia diperkirakan mencapai 35,6 GW (Pranoto, Pandin, Rahmah Fithri, & Nasution, 2013) dan potensi sekam padi adalah sebesar 3,84 GW. Sebelum dimanfaatkan sebagai bahan bakar, maka ada dua analisis yang bisa digunakan untuk

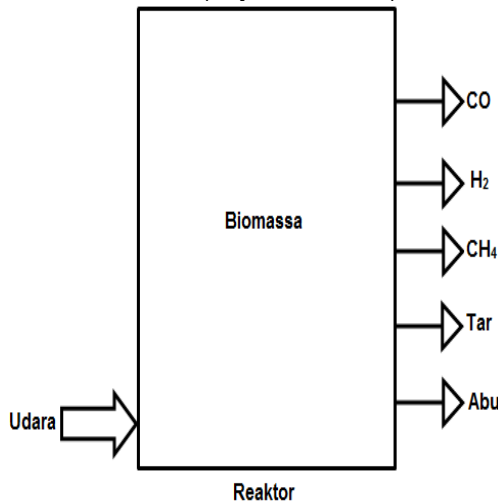
menguji kandungan zat – zat yang terkandung di dalam sekam padi yaitu, analisis ultimat dan analisis proksimat. Hasil analisis bisa dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik sekam padi

Parameter Analisis	Nilai	Satuan
<b>Proksimat</b>		
Moisture	7,82	%
Ash	20,61	%
Volatile Matter	57,66	%
Fixed Carbon	13,91	%
<b>Ultimat</b>		
Sulfur	0,12	%
Carbon Hydrogen	35,03	%
Hydrogen	5,46	%
Nitrogen	0,29	%
Oxygen	38,49	%
<b>Gross Calorific Value</b>	3330	cal/g

Gasifikasi biomassa merupakan proses konversi energi dari bahan baku biomassa menjadi bahan bakar gas yang disebut dengan *producer gas*. Kandungan dari gas ini adalah karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), hidrogen ( $\text{H}_2$ ), dan

metana (CH<sub>4</sub>). Gas ini bisa digunakan untuk mesin pembakaran dalam (Rajvanshi, 1986).



Gambar 1. Produk dari gasifikasi

Pada beberapa aplikasi yang menggunakan gas hasil gasifikasi sebagai sumber energi, terdapat standar untuk jumlah tar yang diijinkan sebelum masuk ke mesin atau *engine*. Untuk mengetahui jumlah tar yang dihasilkan pada proses gasifikasi dengan bahan bakar sekam padi, maka dibutuhkan alat ukur atau pengukuran pada gas yang dihasilkan dari proses gasifikasi. Untuk mengukur jumlah tar yang dihasilkan pada alat *Fixed Bed Downdraft Gasifier*. Pengukuran ini juga dimaksudkan untuk mengetahui berapa banyak tar yang dapat diminimalisasi oleh *filtering* pada konfigurasi-konfigurasi tertentu.

**2. TINJAUAN PUSTAKA**

Dalam gasifikasi, bahan bakar mengalami empat proses, yaitu:

**1. Pengeringan**

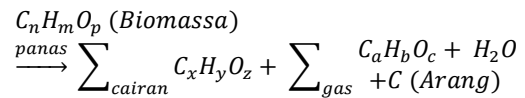
Kelembapan pada bahan bakar akan menguap pada proses ini. Nilai kelembapan dari bahan bakar sangat menentukan, karena semakin tinggi kelembapan maka semakin tinggi energi di dalam reaktor yang digunakan untuk mengeringkan bahan bakar. Oleh karena itu, kelembapan dari bahan bakar pada gasifikasi biomassa dibatasi pada jangkauan 10% - 20%. Proses ini akan berlangsung hingga temperatur kira – kira mencapai 200°C.

**2. Pirolisis**

Pirolisis merupakan proses dekomposisi dari bahan bakar pada temperatur tertentu dengan udara yang terbatas. Pirolisis hampir sama dengan pengeringan, tapi temperatur pirolisi lebih tinggi daripada pengeringan. Temperatur pirolisis bisa mencapai 300 – 700°C (Basu, 2010).

Akibat dari pirolisis yang terjadi didalam reaktor, proses gasifikasi menghasilkan tiga produk dengan fase yang berbeda, yaitu cair, gas,

dan padat. Produk cair dari pirolisis adalah *tar*. Sedangkan produk gas dan padat adalah *producer gas* dan arang. Proses dari pirolisis bisa dinyatakan dengan reaksi berikut.

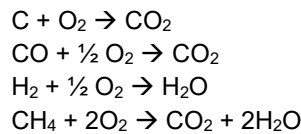


Setiap produk memiliki syarat masing – masing hingga bisa terbentuk. Berikut syarat – syaratnya:

- Untuk memaksimalkan produk berupa arang, maka laju pemanasan harus rendah (<0.01 – 2°C/s), temperatur rendah, dan waktu yang lama
- Untuk memkasimlkan produk cairan, maka temperatur harus sedang (~500°C), dan waktu yang singkat
- Untuk memaksimalkan produk gas, maka laju pemanasan harus rendah, temperatur yang tinggi (~700°C), dan waktu yang lama.

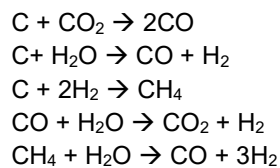
**3. Oksidasi**

Pada proses ini, arang dan gas hasil dari pirolisis bereaksi dengan suplai udara sehingga menghasilkan produk berupa CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O serta energi panas. Energi panas dari oksidasi digunakan untuk energi pengeringan dan pirolisis. Temperatur dari oksidasi ini sangat tinggi, dengan jangkauan 800 – 1400°C. Berikut reaksinya:



**4. Reduksi**

Proses reduksi merupakan tempat reaksi hasil dari produk oksidasi serta menghasilkan produk berupa CO, H<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub>. Dengan kata lain, proses ini sebagian besar menghasilkan energi yang diperlukan oleh *producer gas*. Berikut reaksinya:

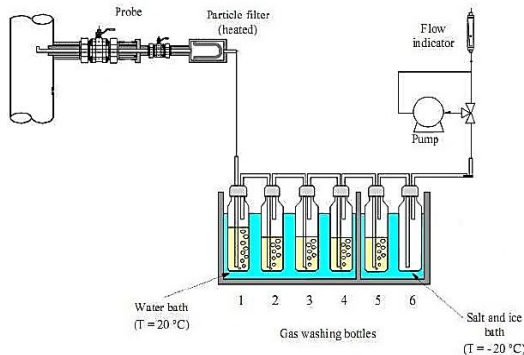


Pada proses gasifikasi sekam padi, dimana gas mentah dibakar secara langsung tanpa pendinginan, tidak perlu dibersihkan. Sistem seperti itu tidak memiliki batasan jumlah tar dan partikulat selama gas tersebut bergerak bebas ke pembakar dan selama desain pembakar tidak memberlakukan batasan tersendiri. Namun, gas buang yang dihasilkan setelah pembakaran harus memenuhi persyaratan emisi lokal.

Tabel 2. Batas Maksimal Partikel dan Tar untuk Gas Hasil Gasifikasi Biomassa

Aplikasi	Partikel (g/m <sup>3</sup> )	Tar (mg/m <sup>3</sup> )
Direct Combustion	No limit	No limit
Syngas Production	0.02	0.1
Gas Turbine	0.1 - 120	0.05 - 5
IC Engine	30	50 - 100
Pipeline Transport	-	50 - 500 for compressor

Pengukuran tar dimaksudkan untuk mengetahui massa tar per satuan volume gas dan jenis tar yang dihasilkan oleh suatu *gasifier*. Banyak metode untuk mengetahui kadar atau konsentrasi tar pada gas producer, seperti contohnya melakukan *sampling* terhadap gas dengan menggunakan tabung-tabung impinger, analisa spektrografi dengan menggunakan *photo-ionization detector*, ataupun dengan metode-metode lainnya. Banyak metode untuk mengukur konsentrasi tar namun demikian, kami memutuskan untuk menggunakan metode *gas sampling* yang telah terstandarisasi yaitu berpegang pada *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* yang telah mendapat CEN (*Comité Européen de Normalisation*) standar dan pada prinsipnya mempunyai range ukur yang besar yaitu 1 mg/m<sup>3</sup>- 300 g/m<sup>3</sup> satuan volume gas producer. Pada metode ini ada beberapa hal penting dalam proses pengukuran tar, yaitu isokinetik *sampling*, *tar collector module*, *volume sampling module*.



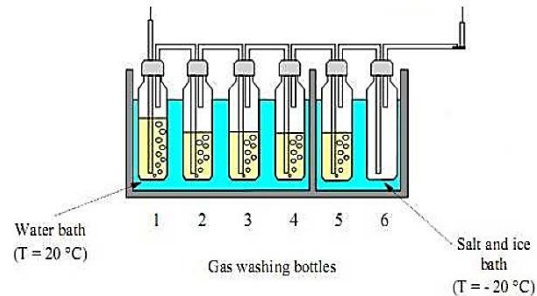
Gambar 2. Skematika Alat Pengukur Tar (J.P.A. Neeft, H.A.M. Knoef, U.)

Modul penangkap tar atau *module tar collector* terdiri dari tabung-tabung impinger, box kondensasi dan solvent dan akan dijelaskan satu persatu dasar pemilihan atau dasar teori pemilihan jenis dari alat-alat tersebut.

### 1. Tabung-tabung Impinger

Tabung-tabung impinger yang digunakan adalah 6 buah tabung impinger standar dengan kapasitas 100 ml atau 250 ml dan harus mampu mengalirkan gas antara 0.1-0.6 m<sup>3</sup>/h.

### 2. Box Kondensasi



Gambar 3. Ilustrasi Box kondensasi

Box kondensasi digunakan untuk mengondensasikan gas sampling didalam tabung-tabung impinger. Pada box pertama diisi dengan air dan dijaga temperaturnya pada 20oC. Pada box kedua diisi dengan material yang mampu membuat temperatur hingga -20°C, untuk hal ini ada beberapa pilihan diantaranya adalah:

Tabel 3. Jenis-jenis Cooling Bath yang biasa digunakan

Mixture	T (°C)
CaCl <sub>2</sub> .6 H <sub>2</sub> O/ice 1:2.5	-10
NaCl/ice 1:3	-20
Carbon Tetrachloride/CO <sub>2</sub>	-23
Acetonitrile/CO <sub>2</sub>	-42
CaCl <sub>2</sub> .6 H <sub>2</sub> O/ice 1:0.8	-40
Acetone/CO <sub>2</sub>	-78
Methanol/N <sub>2</sub>	-98
Liquid N <sub>2</sub>	-196

Campuran es batu dan garam dipilih karena alasan harganya lebih murah dan cara memperolehnya yang mudah.

Tabel 4. Jenis-jenis Solvent

Jenis Solvent	Kelebihan	Kekurangan
<i>Isopropanol</i> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHOH	Aman digunakan, titik didih menengah (82°C).	Digunakan untuk mendapatkan tar dalam jumlah banyak.
<i>Aseton</i> CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	Titik didih yang menengah (56°C), aman digunakan.	Mudah terbakar
<i>Iso-oktan</i> (CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> CCH <sub>2</sub> CH (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Tidak dapat tercampur dengan air.	Memiliki titik didih tertinggi (99.3°C) dibandingkan dengan yang lain.
<i>Dichloromet an</i> CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	Titik didih yang rendah (43°C) sehingga memudahkan dalam proses penguapan.	Bersifat karsinogen atau penyebab kanker.

3. Solvent

Solvent atau pelarut digunakan untuk mengendapkan (menangkap) tar yang ada didalam *gas producer*. Dalam *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* direkomendasikan beberapa jenis solvent yaitu: isopropanol, aseton, iso-oktan dan dichlorometan.

3. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam sistem gasifikasi terdiri dari:

- Reaktor, tempat sekam padi mengalami proses gasifikasi
- Blower tiup, untuk memberikan suplai udara ke dalam reaktor
- Blower hisap, untuk menyedot producer gas menuju burner
- *Filtering*, untuk menyaring gas supaya bersih dari tar
- Burner, terbakarnya producer gas
- Inverter, untuk mengatur kecepatan putar blower hisap
- Termokopel dan data logger, untuk menghitung distribusi temperatur di dalam reaktor
- Timbangan, untuk mengukur massa dari sekam padi dan pengukuran tar
- Pipa gas sampling, untuk mendapatkan sampel gas yang akan di ukur
- Sekaleng silikon, mengalirkan gas dari pipa gas sampling
- Box kondensasi, tempat untuk wadah impinger
- Tabung impinger, untuk wadah penangkap tar
- Pompa vakum, untuk menghisap syngas dari pipa gas sampling
- Rotameter, untuk mengontrol aliran hisapan pompa vakum
- Solvent atau pelarut digunakan untuk menangkap tar pada *producer gas*
- Termometer digital, untuk pengukuran suhu pada box kondensasi
- Kompor induksi, untuk memanaskan tambung impenger supaya solvent menguap
- *Ball valve*, untuk membuka dan menutup aliran gas yang dihisap.

Proses pengujian dilakukan dengan tahapan, yaitu:

1. Menimbang massa dari sekam padi
2. Menyiapkan set pengambilan tar
3. Menghubungkan set pengambilan tar pada pipa gas sampling
4. Ignisi reaktor dengan DEX dan pemantik gas portabel
5. Menyalakan suplai udara primer dengan bukaan 45°

6. Menghisap producer gas dengan blower hisap
7. Menyalakan producer gas di dalam burner menggunakan pemantik gas portabel
8. Membuka *ball valve* pada pipa gas sampling
9. Menyalakan pompa vakum ketika *flame* pada burner menyala
10. Penambahan sekam padi hingga pengambilan data telah selesai dan flame pada burner telah padam
11. Mengambil tabung impinger pada box kondensasi
12. Memanaskan tabung impinger supaya solvent atau aseton menguap
13. Menimbang tabung impinger yang berisi tar
14. Membersihkan tabung impinger
15. Menimbang kembali tabung impinger yang kosong
16. Mencatat selisih kandungan tar sebelum dan sesudah filtering

Massa tar yang terukur (dalam satuan gram) kemudian dirubah menjadi massa tar persatuan gas produser(g/m<sup>3</sup>) karena untuk menyamakan dengan satuan tar yang ada pada standar. Berikut perhitungannya:

$$\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Massa Tar Terukur (gram)} \times 1000 \frac{\text{liter}}{\text{m}^3}}{\text{Waktu Hisap (menit)} \times \text{Sampel gas flowrate} \frac{\text{liter}}{\text{menit}}}$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengambilan kandungan tar sebelum dan sesudah filtering pada gasifikasi menggunakan bahan bakar sekam padi ada perbedaan, berarti sistem filtering pada alat gasifikasi ini berfungsi. Pada penelitian ini mencari titik optimum pada hisapan blower dimana kandungan tar yang lebih sedikit.

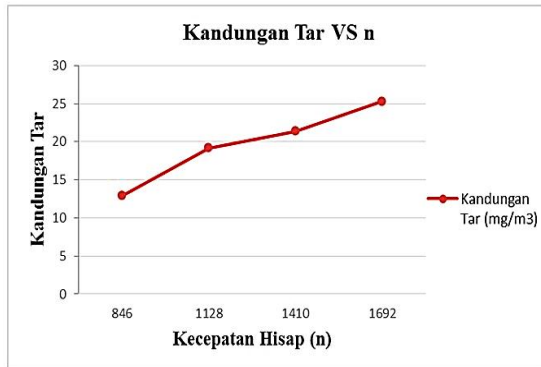
Tabel 5. Kandungan Tar Sebelum *Filtering*

Kecepatan Hisap (n)	846 rpm	1128 rpm	1410 rpm	1692 rpm
Massa Tar (g)	0,93	1,38	1,54	1,82
<i>Sample Gas Flowrate</i> (lpm)	12	12	12	12
Waktu Hisap (menit)	6	6	6	6
Kandungan Tar (mg/m <sup>3</sup> ) satuan volume gas	12,92	19,17	21,39	25,28

Tabel 6. Kandungan Tar Setelah *Filtering*

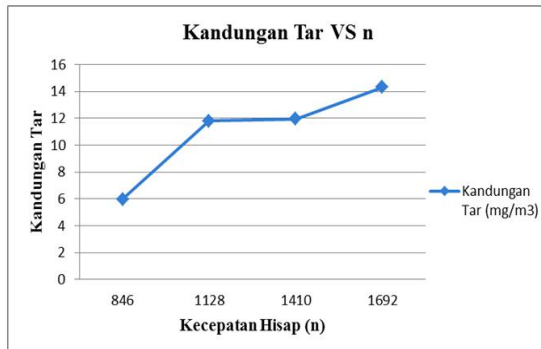
Kecepatan Hisap (n)	846 rpm	1128 rpm	1410 rpm	1692 rpm
Massa Tar (g)	0,43	0,85	0,86	1,03

Sample Gas Flowrate (lpm)	12	12	12	12
Waktu Hisap (menit)	6	6	6	6
Kandungan Tar (mg/m <sup>3</sup> ) satuan volume gas	5,97	11,80	11,94	14,30



Gambar 4. Grafik Kandungan Tar dengan Kecepatan Hisap Blower

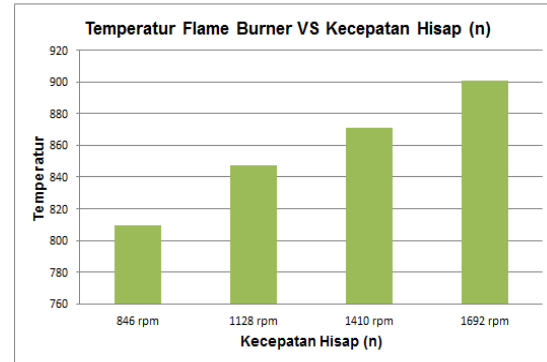
Pada pengujian tar sebelum *filtering*, dilakukan dengan variasi kecepatan hisap 846 rpm, 1128 rpm, 1410 rpm dan 1692 rpm. Kandungan tar meningkat seiring dengan kenaikan *flowrate* dari hisapan blower. Kandungan tar maksimal yang terukur adalah 25,28 mg/m<sup>3</sup> satuan volume gas produser pada kecepatan hisapan blower, kandungan tar minimal yang terukur adalah 12,92 mg/m<sup>3</sup> satuan volume gas produser.



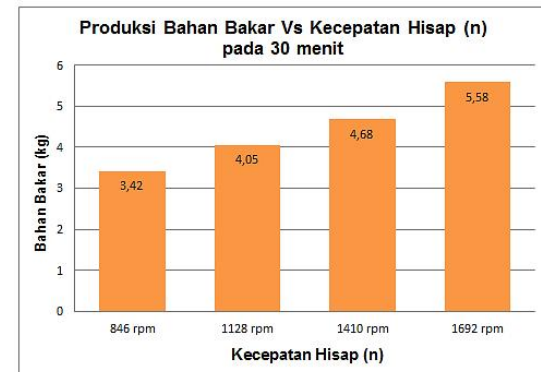
Gambar 5. Grafik Kandungan Tar Sesudah *Filtering*

Pada pengujian tar sesudah *filtering*, dilakukan dengan variasi kecepatan hisap 846 rpm, 1128 rpm, 1410 rpm dan 1692 rpm. Kandungan tar meningkat seiring dengan kenaikan *flowrate* dari hisapan blower. Kandungan tar jika dibandingkan sebelum dan sesudah *filtering*, hasil kandungan tar lebih sedikit setelah proses *filtering*. Maka filter yang menggunakan media dari jerami sekam padi bisa mengurangi kandungan tar. Kandungan tar yang awalnya 19,17 mg/m<sup>3</sup> menjadi 11,80 mg/m<sup>3</sup> pada kecepatan hisap putaran motor 1128 rpm.

Hisapan blower jika ditambahkan maka akan mengakibatkan kandungan tar bertambah dan suplai bahan bakar juga akan lebih banyak. Untuk kandungan gas jika hisapan blower bertambah maka kondisi temperatur pada *flame* burner semakin tinggi.



Gambar 6. Grafik Temperatur flame burner dengan Hisapan blower



Gambar 7. Produksi Bahan Bakar dengan Kecepatan Hisapan Blower

Hisapan blower mempengaruhi pada produksi bahan bakar. Jika hisapan blower rendah maka produksi bahan bakar yang di masukan ke reaktor juga rendah dan jika hisapan blower di naikan maka produksi bahan bakar ke dalam reaktor juga akan bertambah, ini mengakibatkan kandungan gas kaya pada saat hisapan blower di naikan.

## 5. KESIMPULAN

1. Produksi bahan bakar mempengaruhi pada hisapan blower, karena jika hisapan blower di naikkan maka bahan bakar yang di dalam reaktor juga cepat habis.
2. Hisapan blower pada kecepatan 846 rpm, kandungan tar nya paling rendah. jika hisapan blower dinaikan maka kandungan tar akan bertambah juga.
3. Hisapan blower yang paling rendah menghasilkan temperatur pada flame burner juga rendah dan jika hisapan blower dinaikan maka akan mengasilkkan temperatur flame burner akan tinggi.

4. Kandungan tar sebelum dan setelah filtering ada perbedaan, jadi alat filtering ini bisa mengurangi kandungan tar pada producer gas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Asian Biomass Center. 2012. *Asian Biomass Handbook*.
- [2]. Balai Pengkajian dan Penelitian Teknologi. 2013. *Indonesia Energi Outlook 2013*.
- [3]. Barman, N. S., Ghosh, S., De, S., 2012. Gasification of biomass in a *fixed bed downdraft gasifier* – A realistic model including tar. *Bioresource Technology*; 107; 505-511.
- [4]. Basu, Prabir. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis Practical Design*. Academic Press Publication: Elsevier.
- [5]. Cao, Yan, Wang, Yang, Riley, John. T., 2006. A novel biomass air gasification process for producing tar-free higher heating value fuel gas. *Fuel Processing Technology* ;87; pp 343 – 353
- [6]. Gek, 2008. Simplified Straight Reduction Tube Tar Recirculation Hearth, (<http://gekgasifier.pbworks.com/Simplified-straight-reduction-tube-tarrecirculation-hearth>).
- [7]. *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine System*. US Department of Energy. 1988
- [8]. Houston, D. F., 1972. Rice Chemistry and Technology. St. Paul, MN, American Association of Cereal Chemists, 301-340.
- [9]. ISO 5167-1:2003. *Orifice Meter tapping and standard*.
- [10]. Jhibril, 2012. Implementasi pengukuran tar pada *fixed bed downdraft gasifier*. Skripsi Tugas Akhir; Universitas Indonesia.
- [11]. J.P.A. Neeft, H.A.M. Knoef, U. etc *Guideline for Sampling and Analysis of Tar and Particles in Biomass Producer Gases* Version 3.3.
- [12]. Kaupp, A., Gross, JR. (1981): State of the art for small (2-50 kW) gas producer engine system, Final Report to USDA, Forest Service, Contract No 53 – 39R-0-141.
- [13]. Khalil, R., Varhegyi, G., Jaschke, S., Gronli, MG., Hustad, J. (2009): CO<sub>2</sub> gasification of biomass chars: a kinetic study, *Energi Fuels*; 23: pp 94–100.
- [14]. Kucuk, M. M. and Demirbas, A., 1997. Biomass conversion processes. *Energy Conversion and Management* 38, pp 151-165.
- [15]. Kumar, A., Jones, D., A Hasan, M., (2009): Thermochemical biomass gasification: A Review of current status of the technology “, *Energies* ;2; pp 556 – 581
- [16]. Machin, E. B., Pedroso, D. T., Proenza, N., Silveira, J. L., Conti, L., Braga, L. B., Machin, A. B., 2015. Tar reduction in downdraft biomass *gasifier* using a *primary* method. *Renewable Energy*; 78; pp 478-483.
- [17]. Mande, S., Kishore, V. V. N., 2007. *Towards Cleaner Technologies: A Process Story on Biomass Gasifiers for Heat Applications in Small and Micro Enterprises*; TERI Press, The Energy and Resources Institute; New Delhi.
- [18]. Mandl, C., Obernberger, I., Biedermann, F., 2010. Modeling of an updraft fixed-bed *gasifier* operated with softwood pellets. *Fuel*; 89; pp 3795-3806.
- [19]. Pekka Simell, dkk *Provisional protocol for the sampling and analysis of tar and particulates in the gas from large-scale biomass gasifiers*. Version 1998 Pergamon 1999
- [20]. Prando, D., Shivananda, A. S., Chiamonti, D., Baratieri, M., Dasappa, S., 2016. Characterisation of the *producer gas* from an open top *gasifier*: Assessment of different tar analysis approaches. *Fuel*; 181; pp 566-572.
- [21]. Reed, 1981. A Survey of Biomass Gasification, Vol. 1- III, SERI/TR-33-239, edited by Solar Energy Research Institute, Golden, Colo., 1979. Published in hard cover as T. Reed, editor, *Biomass Gasification: Principles and Technology*, Energy Technology Review No. 67, Noyes Data Corp, Park Ridge, N.J. 1981.
- [22]. Ruiz, J.A., Jua´ rez, M.C., Morales, M.P., Mun´oz, P., Mendi´vil. M.A. (2013): Biomass gasification for electricity generation: Review of current technology barriers, *Renewable and Sustainable Energi Reviews* ;18; pp 174–183.
- [23]. Woolcock, P. J., 2013. Development and application of a rapid sampling technique for identification and quantification of compounds in high temperatur process gas streams produced from biomass gasification and pyrolysis. Graduate Theses and Dissertations, Iowa State University.
- [24]. Yoon, Sang Jun, Son, Yung-II, Kim, Yong Ku, Lee, Jae Goo. 2012. Gasification and power generation characteristics of rice husk and rice husk pellet using a downdraft fixed-bed *gasifier*. *Renewable Energy*; 42; pp 163-167.

## STUDI PERANCANGAN COMBINATION TOOL AIR VENT NON-CYLINDER DENGAN METODE VDI 2222

Riona Ihsan Media, Riky Adhianto, Endjang Patriatna, Uci Primayangputri  
Jurusan Teknik Perancangan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung  
E-mail: rio\_sanmed@polman-bandung.ac.id

**Abstrak**--Air vent non-cylinder adalah salah satu produk yang digunakan sebagai cerobong pembuangan aliran udara dari dalam ke luar pada bangunan pabrik maupun kantor. Produk ini awalnya dibuat dengan menggunakan dua alat bantu proses yaitu untuk pemotongan dan pembentukkan secara terpisah. Banyak parameter yang harus diatur sehingga tidak efektif dan efisien dalam waktu proses. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan konsep rancangan combination tool yang merupakan alat bantu pembuatan produk menggunakan bahan dasar lembaran pelat dengan menggabungkan fungsi pemotongan dan fungsi pembentukkan pada satu kali proses. Variasi alternatif konsep serta tahapan proses dibuat kemudian dinilai berdasarkan beberapa faktor sehingga didapat konsep terpilih pada proses perancangan berdasarkan metode VDI 2222. Dari proses perancangan tersebut dihasilkan konsep rancangan combination tool dengan dimensi 1012 mm x 826 mm x 516 mm serta total gaya combination tool sebesar 97,5 ton.

**Kata kunci:** combination tool, drawing process, deep drawing, presstool, VDI 2222

**Abstract**--Air vent non-cylinder is one of the products used as a stack exhaust air flow from inside to the outside of factory building and office. This product was originally created using two process tools i.e for cutting and forming separately. Many parameters must be set so that it is ineffective and efficient. This study aims to produce the concept of combination tool design which is a tool for making products using sheet metal by combining cutting and forming a one-time process. Variations of alternative concepts and process stages are made then assessed based on several factors to get the concept selected in the design process based on VDI 2222 method. From the design process is produced the concept of combination tool design with dimensions of 1012 mm x 826 mm x 516 mm and total combination style 97.5 tons.

**Keywords:** combination tool, drawing process, deep drawing, presstool, VDI 2222

### 1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri semakin pesat dengan adanya teknologi informasi yang dapat diakses dengan mudah oleh siapa saja dan dimana saja. Mereka dituntut untuk selalu mengikuti kemajuan teknologi pada setiap lini produksinya. Pada umumnya, teknologi yang digunakan adalah otomatisasi dalam menghasilkan produk untuk mencapai produktifitas yang sangat tinggi. Proses menghasilkan suatu produk dari bahan mentah/ setengah jadi menjadi bahan yang sudah siap digunakan dengan adanya nilai tambah melibatkan teknologi didalamnya disebut proses manufaktur (Kalpakjian, 2005:22-36).

Didalam industri manufaktur, istilah *Quality, Cost, and Delivery (QCD)* merupakan hal yang sangat berhubungan erat dalam setiap aktivitas produksi (Biswajit, 2015:74-82). Kualitas (*quality*) produk yang dihasilkan dituntut untuk sesuai dengan standar yang berlaku dipasar sehingga harga dasar (*cost*) yang ditawarkan ke pasar sangat tinggi karena berkaitan dengan waktu dan proses pengerjaannya (*delivery*). Oleh karena itu, seringkali industri melibatkan institusi pendidikan dalam membantu memenuhi kebutuhan pasar dengan cara optimalisasi produk atau proses.

PT Tamura adalah perusahaan manufaktur

yang bergerak dalam bidang instalasi pengatur temperatur udara. Salah satu produk yang dihasilkan adalah *air vent non-cylinder*. Produk ini berfungsi untuk mengalirkan udara dari dalam ke luar ruangan yang dipasang pada setiap dinding-dinding terluar pada bangunan seperti gedung perkantoran dan pabrik.

Pada awalnya, produk ini dibuat dengan menggunakan alat bantu (*tools*) proses sebanyak tiga buah. Proses pertama adalah pemotongan (*cutting*), kedua adalah pembentukkan (*forming*) dan ketiga adalah pemotongan sisi (*parting*). Ketiga proses diatas tentunya sangat menyita waktu, terutama dalam hal pengaturan parameter dari tiap-tiap *tools*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji serta membuat rancangan *combination tools* yang dapat menggabungkan ketiga proses pembuatan menjadi satu kali proses sehingga diharapkan mampu bersaing dengan industri sejenisnya. *Metode VDI 2222* merupakan perumusan desain secara sistematis dan pengembangan berbagai macam metode desain sebagai akibat kegiatan penelitian (Pahl, 2010). Sehingga, metode ini digunakan dalam proses perancangan dengan menambahkan beberapa penyesuaian parameter didalamnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Presstool

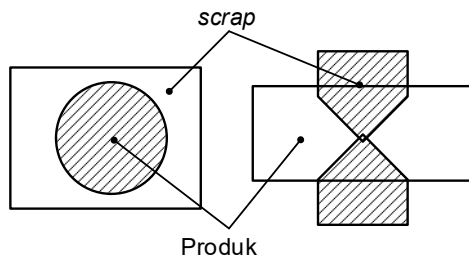
Press tool adalah peralatan produksi atau cetakan yang berfungsi untuk memotong (cutting) dan membentuk (forming) material pelat baja (sheet metal) yang hasil akhirnya menjadi suatu produk yang disebut sheet metal product. Proses memotong dan membentuk tersebut dilakukan dengan menggunakan mesin press sehingga dihasilkan produk sheet metal dengan jumlah yang banyak (mass production) dan kualitas yang konsisten (Theryo, 2009:63).

2.2 Combination Tool

Combination tool adalah tool yang menggabungkan dua atau lebih tool proses pemotongan dan proses pembentukan secara bertahap pada station yang sama dalam satu kali operasi (stroke). Tujuan pembuatan combination tool adalah mengurangi biaya pembuatan tool dengan mereduksi jumlah tool untuk membuat sebuah produk, memperpendek cycle time, dan penghematan pemakaian mesin.

2.3 Proses pemotongan

Dalam proses pemotongan (Gambar 2.1.) untuk produk air vent non-cylinder terdapat dua jenis proses pemotongan yaitu pemotongan keseluruhan seperti pada Gambar 2.1(a) (blanking) dan pemotongan sebagian seperti pada Gambar 2.1(b) (parting).



(a) blanking (b) parting

Gambar 2.1 Jenis proses pemotongan

Pemotongan keseluruhan adalah proses pemotongan pada seluruh sisi dari bentuk produk yang menghasilkan produk secara utuh. Sedangkan pemotongan sebagian merupakan pemotongan untuk menghasilkan produk dengan pemotong pembagi dan bagian yang terpotong menjadi scrap atau tidak terpakai.

Pada tahapan pemotongan, parameter penetrasi dari alat dan jarak kebebasan (clearance) menjadi pertimbangan selanjutnya. Besarnya penetrasi normal dapat menggunakan faktor pengali 0.3 s.d. 0.5 dari tebal pelat (Ivana, 2006). Sedangkan untuk clearance didapatkan dengan melihat tabel konstanta dengan memasukkannya kedalam pers. (1).

$$CL_{side} = ct\sqrt{S_s} \tag{1}$$

dimana,

CL = besarnya clearance per-sisi (mm);

c = konstanta material; dan

S = tegangan geser material (N/mm<sup>2</sup>).

Selain mempertimbangkan parameter diatas, diperlukan juga perhitungan jumlah energi yang dibutuhkan untuk memotong sheet metal (pers. (2)) dengan mengalikan konstanta 0.8 terhadap besarnya tegangan maksimum material 0.8 serta dikalikan dengan hasil perhitungan keliling potong dari produk dan tebal pelat (Hilbert, 1970).

$$P_s = 0,8 \cdot \sigma_B \cdot K \cdot s \tag{2}$$

dimana,

Ps = besarnya gaya yang dibutuhkan (N);

$\sigma_B$  = tegangan maksimum (N/mm<sup>2</sup>);

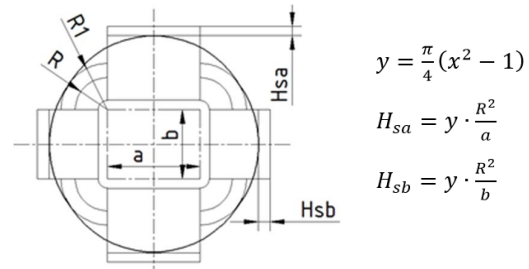
K = keliling potong (mm); dan

s = tebal pelat (mm).

2.4 Proses pembentukan

Pada proses pembentukannya, produk air vent non-cylinder dibentuk dengan menggunakan metode deep drawing tools. Metode ini digunakan untuk membentuk sheet metal menjadi bentuk mangkuk atau wadah dengan bentukan konturnya mengikuti punch dan dies tanpa mengurangi ketebalan serta volume secara signifikan (Schuler, 2002:156).

Berdasarkan bentukannya, deep drawing tools memiliki beberapa komponen diantaranya, punch, dies, dan blank holder (Colgan M, 2003). Di dalam proses deep drawing, ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan seperti, perhitungan bentangan, jumlah tahapan proses, dan clearance antara punch dan dies. Untuk mendapatkan bentangan awal (fix blank) dilakukan dengan cara menghitung luas area atau menghitung keliling bentukan seperti Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perhitungan bentangan awal

Parameter selanjutnya adalah perhitungan jumlah tahapan proses dengan membandingkan antara ukuran fix blank dari produk terhadap kedalaman pembentuk produk (Hilbert, 1970:212). Kondisi tersebut merupakan batasan yang digunakan untuk menentukan urutan proses pada deep drawing atau draw ratio.

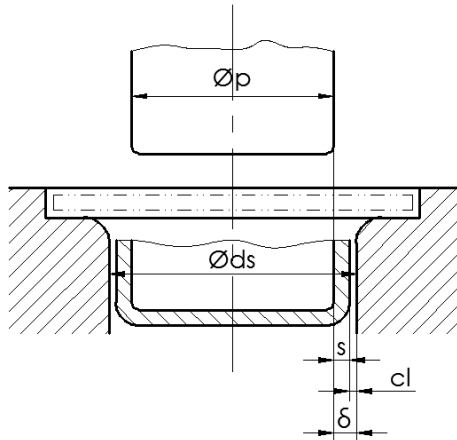


$$n = \frac{0.97 \cdot h}{d} \quad (3)$$

dimana,

- n = jumlah tahapan proses;  
h = tinggi produk (mm); dan  
d = diameter produk(mm).

Sedangkan untuk parameter *clearance* antara *punch* dan *dies* didapat dengan menghitung besarnya *radius/diameter punch* dan *dies* terhadap tebal material (Hilbert, 1970:251) seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 *Clearance* antara *punch* dan *dies*

Untuk mendapatkan nilai *clearance* dapat dilihat pada Pers. (4) dengan menghitung radius pada *punch* (Pers.(5)) serta *radius* pada *dies* (Pers.(6)) terlebih dahulu.

$$\delta = (d_R - d_{st})/2 \quad (4)$$

$$r_{st} = (3 \sim 5)s \quad (5)$$

$$r_R = 0,05[50 + (d_s - p)] \cdot \sqrt{s} \quad (6)$$

dimana:

- $\delta$  = *clearance* (mm);  
 $d_R$  = *diameter dies* (mm);  
 $d_{st}$  = *diameter punch* (mm);  
 $r_{st}$  = *radius punch* (mm);  
 $r_R$  = *radius dies*;  
 $d_s$  = *diameter dies* (mm); dan  
 $p$  = *diameter punch* (mm).

### 2.5 Gaya Pembentukan

Proses pembentukan membutuhkan gaya yang besarnya berbanding lurus dengan besarnya keliling produk serta tebal material (Hilbert, 1970:298) seperti pada Pers. (7).

$$P_Z = U \cdot s \cdot \sigma_B \cdot \alpha \quad (7)$$

dimana:

- $P_Z$  = gaya pembentukan (N);  
 $U$  = keliling produk (mm);  
 $s$  = tebal material (mm);  
 $\sigma_B$  = tegangan tarik material (N/mm<sup>2</sup>); dan  
 $\alpha$  = faktor koreksi.

Disamping itu, perhitungan besarnya gaya penekanan *blank holder* saat proses pembentukan didapatkan dengan menghitung diameter *fix blank* serta diameter produk jadi (Pers. (8)).

$$P_B = (D^2 - d^2) \cdot 0,785 \cdot p \quad (8)$$

dimana:

- $P_B$  = gaya *blankholder* (mm);  
 $D$  = *diameter blank*;  
 $d$  = *diameter produk*;  
 $p$  = *tekanan spesifik* (didapat dari Pers. (9));  
 $\beta$  = koefisien pambanding.

$$p = \frac{0.25}{100} \left[ (\beta - 1)^2 + \frac{0.5d}{100s} \right] \sigma_B \quad (9)$$

### 2.6 Metode Perancangan VDI 2222

Proses perancangan *combination tool* menggunakan metode yang dipadukan dengan metode perancangan VDI 2222 (metode yang dihasilkan dari persatuan para insinyur Jerman). Metode ini diawali dengan proses merencana untuk menghasilkan spesifikasi produk beserta tuntutan teknisnya sampai dengan proses penyelesaian untuk menghasilkan gambar konsep beserta gambar detailnya (Wiendahl, 1981) seperti pada Gambar 2.4.

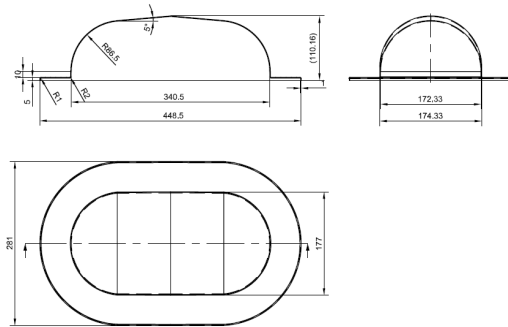


Gambar 2.4 Metode perancangan VDI2222

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Merencana

Proses merencana, bentangan awal produk (*fix blank*) dihitung berdasarkan spesifikasi dan tuntutan produk seperti pada Gambar 3.1. Material produk terbuat dari aluminium tipe *Al6111* yang memiliki kekuatan tarik maksimum sebesar 280 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan ketebalannya sebesar 1 mm dengan batasan penyebaran penipisan produk sebesar 20% dari tebal produk.

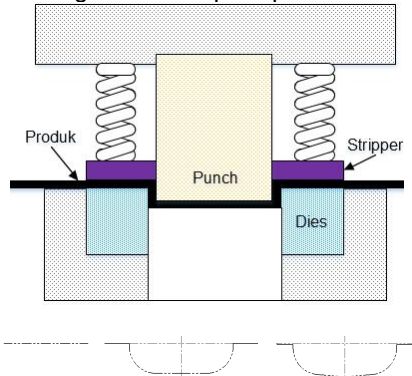


Gambar 3.1 Gambar produk

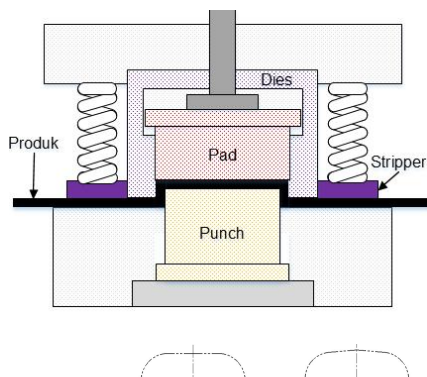
### 3.2 Mengonsep

Pada proses ini, pembuatan konsep rancangan dibuat beberapa alternatif yang kemudian dinilai serta dipilih alternatif yang paling memungkinkan untuk dibuatkan *combination tool* secara utuh. Beberapa parameter seperti konstruksi, keterbutan, serta perawatan digunakan sebagai pertimbangan dalam pembuatan konsep.

Alternatif satu dengan tahapan proses dibuat dengan konsep rancangan *push through tool* yaitu terdiri dari *punch* yang terletak diatas, sedangkan *dies* diletakkan dibagian bawah seperti pada Gambar 3.2. Namun, untuk konstruksi *inverted tool* terdiri dari *punch* yang terletak pada bagian bawah, sedangkan *dies* terletak dibagian atas seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Alternatif 1 *push through tool*

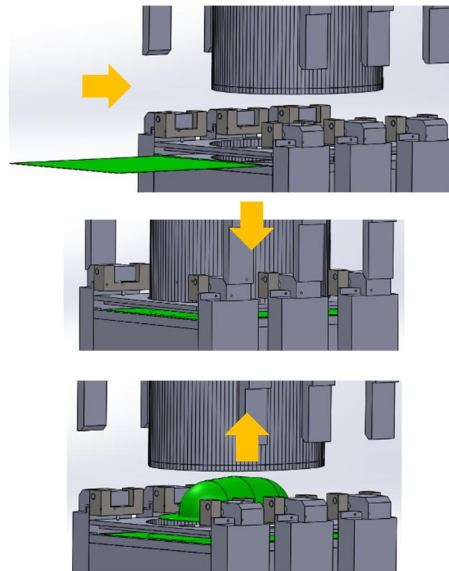


Gambar 3.3 Alternatif 2 *inverted tool*

Pada alternatif konsep 1 memiliki kelebihan *tool* lebih sederhana dalam hal konstruksi, namun gaya yang bekerja pada *blankholder* tidak stabil tidak seperti pada alternatif konsep 2. Hal ini disebabkan karena pada alternatif konsep 2 menggunakan sistem *pad* yang berfungsi sebagai pembantu pendistribusian gaya pada saat proses pembentukkan.

Pertimbangan lain adalah pada alternatif konsep 1 dibutuhkan area *stripper* yang besar, sedangkan pada alternatif konsep 2 area kerja relatif kecil sehingga berpengaruh terhadap pegas *stripper* yang dibutuhkan lebih kecil. Faktor kestabilan aliran material juga menjadi pertimbangan, sehingga pada alternatif konsep 1 relatif tidak stabil tidak seperti pada alternatif konsep 2. Hasilnya, alternatif konsep 2 terpilih dengan mempertimbangkan kestabilan material serta konstruksi walaupun dalam pembuatannya, konstruksi *inverted tool* tergolong relatif rumit karena terdapat beberapa komponen tambahan.

Selanjutnya, konsep *loading-unloading* material juga dipertimbangkan dengan berdasarkan pada *layout strip* material. Gambar 3.4 menunjukkan konsep arah material *sheet metal* yang akan dimasukkan kedalam *tool*. Proses tersebut dimulai dengan memasukkan *fix blank*, kemudian proses pembentukkan serta pemotongan.



Gambar 3.4 Tahapan proses *loading-unloading*

Setelah proses pembuatan konsep tersebut diatas, untuk memastikan bahwa produk dapat dibentuk dan dibuat dalam satu kali proses, maka memerlukan perhitungan diantaranya, tahapan proses, perhitungan gaya pembentukkan, serta perhitungan gaya secara keseluruhan.

$$F_{tot} = P_z + P_s + F_{pad} + P_B + F_{strip}$$

$$F_{tot} = 337457,79 + 325080 + 16872,88 + 116642,8 + 16254 = 812260 \text{ N}$$

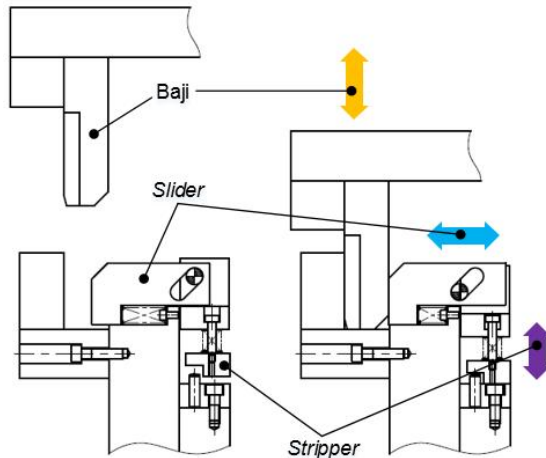
$$F_{tot} = 812260 \text{ N} = 812,26 \text{ kN}$$

$$P_m = F_{tot} \cdot 1,2 = 812,26 \text{ kN} \cdot 1,2 = 974,7 \text{ kN} = 97,47 \text{ ton}$$

Dari analisis perhitungan diatas didapatkan gaya seluruh proses pemotongan dan pembentukan pada *combination tool* dalam satu kali proses adalah sebesar 97,5 ton.

### 3.3 Merancang

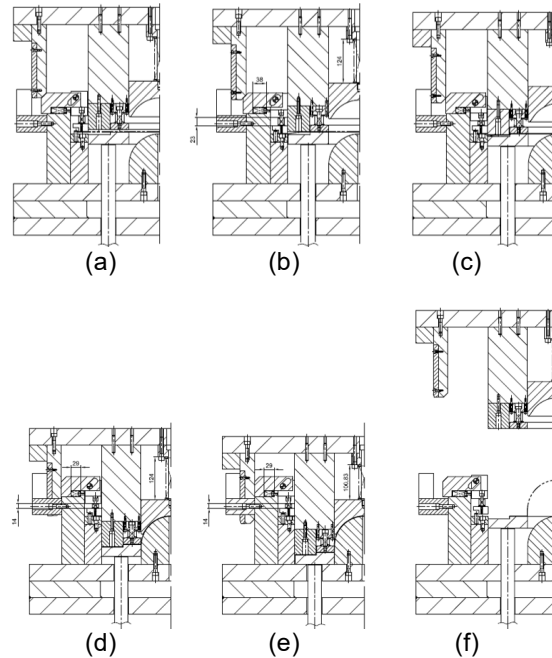
Pada tahapan merancang, *combination tool* dibuat dalam bentuk *draft* rancangan yang meliputi mekanisme stripper dengan tipe inverted tool secara keseluruhan seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Konstruksi baji, slider, dan stripper

Konstruksi seperti gambar diatas memungkinkan *tool* untuk bergerak secara horizontal dengan adanya bantuan baji yang bergerak secara vertikal kemudian di konversi oleh komponen *slider* untuk arah horizontalnya. Metode ini digunakan untuk proses pembentukan produk pada arah samping untuk proses *cutting forming* maupun *forming* pada *combination tool* tipe *inverted tool*.

Secara keseluruhan, konstruksi *combination tool* tipe *inverted* dibagi menjadi enam tahapan mekanisme seperti pada Gambar 3.6. Seluruh komponen *tool* sebelum bekerja (Gambar 3.6(a)). Pada saat *sheet metal* yang berupa bentangan produk, maka *tool* bergerak turun sebesar 6 mm sampai posisi *stripper* menyentuh *fix blank* (Gambar 3.6(b)). Tahapan berikutnya adalah *tool* turun sebesar 9 mm yaitu *punch* memotong strip material atau disebut *blanking* (Gambar 3.6(c)).



Gambar 3.6 Tahapan mekanisme *tool*

Tahapan mekanisme selanjutnya adalah proses *drawing 1* dengan *tool* bergerak sebesar 85 mm sehingga *dies* menekan *strip material* dan *punch drawing 1* mulai membentuk (Gambar 3.6(d)). Proses selanjutnya adalah *drawing 2* dengan melibatkan *tool* turun sebesar 23,17 mm sehingga *dies* menekan *strip material* dan *punch* mulai membentuk *flange side* (Gambar 3.6(e)). Proses terakhir adalah pengeluaran produk dengan menggerakkan *tool* pada posisi teratas seperti pada tahapan Gambar 3.6(a).

### 4.3 HASIL DAN DISKUSI

Perhitungan bentangan awal produk dengan jenis material *Al6111* untuk proses *deep drawing* adalah sebesar 164.444 mm<sup>2</sup>. Sedangkan banyaknya proses yang diperbolehkan untuk karakteristik material tersebut adalah satu kali proses. Besarnya bentangan tersebut didapat dari perhitungan secara manual dengan mempertimbangkan parameter-parameter pada produk dan proses yang akan dilakukan.

Berdasarkan hasil dari studi perancangan *combination tool* dengan menggunakan metode *VDI 2222*, maka didapatkan sebuah *draft* rancangan dengan menggunakan jenis *inverted tool*. Adapun *tool set* dalam komponen *presstool* secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.7. Beberapa *draft* rancangan disajikan dalam beberapa pandangan yang terdiri dari padangan utama dan pandangan potongan serta bukaan *presstool*. Penyetelan pada mesin press dipermudah dengan adanya *marking* pada setiap bukaan gambar *draft* untuk memudahkan operator dalam proses uji coba seperti pada Gambar 3.8.



## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari studi penelitian yang dilakukan, terdapat tiga kesimpulan yang diantaranya:

1. Penggabungan *tool* proses dapat dilakukan dengan kajian berdasarkan metode perancangan VDI 2222 dalam upaya peningkatan optimalisasi QCD (*Quality, Time, and Delivery*).
2. Hasil dari kajian penelitian yang berupa gambar *draft combination tool* dengan tipe *inverted* dapat dijadikan sebagai alternatif solusi proses untuk menghasilkan produk *sheet metal*.
3. Dimensi total dari *draft* rancangan *combination tool* sebesar 1012 mm x 826 mm x 516 mm dengan gaya *presstool* sebesar 97,5 Ton yang memungkinkan penggunaannya pada mesin *press* dengan kapasitas maksimum sebesar 120 ton.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Biswajit Sarkar, Kripasindhu Chaudhuri, Ilkyeong Moon. (2015). *Manufacturing setup cost reduction and quality improvement for the distribution free continuous-review inventory model with a service level constraint*. Journal of Manufacturing Systems, Volume 34, Pages 74-82.
- [2]. Colgan M, Monaghan J. (2003). *Deep drawing process: analysis and experiment*. J. Mater. Process. Technology. Page 132(1-3):35-41.
- [3]. Hilbert, Heinrich L. (1970). *Stanzertechnik Band II*. Munchen. Carl Hanser Verlag.
- [4]. Kalpakjian, Serope; Steven Schmid (2005). *Manufacturing, Engineering & Technology*. Prentice Hall. pp. 22-36.
- [5]. Pahl, G., Beitz, W. (2010). *VDI Guideline 2222, Systematic approach to the development and design of technical system and products*. Verein Deutscher Ingenieure. Berlin: Beuth Verlag.
- [6]. Schuler GmbH. (2002). *Metal Forming Handbook*. New York: Springer.
- [7]. Suchy, Ivana. (2006). *Handbook of Die Design 2nd edition*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- [8]. Theryo, Rony Sudarmawan. (2009). *Teknologi Press Dies*. Yogyakarta: Kanisius.
- [9]. Wiendahl, H-P. (1981). *Five years experience with VDI 2222 guideline in a large capital equipment enterprise*. Design Studies 2. Pages 165-170.