



Perancangan *Burner* untuk Reaktor Pirolisis Kapasitas 15 kg dengan Bahan Bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan Gas

Design Burner for Pyrolysis Reactor Capacity 15 kg using Refuse Derived Fuel (RDF) and Gas

Muhammad Jamaluddin, Eka Maulana* dan Eddy Djatmiko

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
26/10/2021
Direvisi:
30/11/2021
Disetujui:
01/12/2021

Abstract

This research has several problem formulations, namely how the design stages and what are the main parameters of the burner design for pyrolysis reactors with Refuse Derived Fuel (RDF) and gas fuel. Therefore, the purpose of this research is to produce a burner design for a pyrolysis reactor with Refuse Derived Fuel (RDF) and gas fuel. Burner is a tool that is used to react properly between the fuel and the oxidizing agent, so that the combustion process can occur. The use of a burner can also save fuel used during the combustion process. In this study, the design method used is the Pahl & Beitz method. There are 3 design variants where variant 1 gets a weighting result (2.9), variant 2 (3.7), and variant 3 (3.06). Based on the results of the weighting of the three variants, variant 3 becomes the chosen design which will then be carried out with detailed design and design analysis. From the analysis of the strength of the frame, the safety factor value is $1,031 \times 10^{-3}$ while the calorific value needed to burn Low Density Polyethylene (LDPE) plastic in the pyrolysis reactor is 9.3138 kJ/s.

Keywords: burner, method Pahl & Beitz, safety factor, heating value.

Abstrak

Penelitian ini mempunyai beberapa rumusan masalah, yaitu bagaimana tahapan perancangannya dan apa saja parameter utama dari rancangan *burner* untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini yaitu menghasilkan rancangan *burner* untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas. *Burner* merupakan alat yang digunakan untuk mereaksikan secara baik antara bahan bakar dengan oksidator, sehingga dapat terjadi proses pembakaran. Penggunaan *burner* juga dapat menghemat bahan bakar yang dipakai pada saat proses pembakaran. Pada penelitian ini, metode perancangan yang digunakan yaitu metode Pahl & Beitz. Didapatkan 3 varian desain yang mana varian 1 mendapatkan hasil pembobotan (2,9), varian 2 (3,7), dan varian 3 (3,06). Berdasarkan hasil pembobotan ketiga varian tersebut, varian 3 menjadi desain terpilih yang selanjutnya akan dilakukan perancangan detail dan analisa desain. Dari hasil analisa kekuatan rangka diperoleh nilai faktor keamanan sebesar $1,031 \times 10^{-3}$ sedangkan untuk nilai kalor yang dibutuhkan untuk membakar plastik jenis *Low Density Polyethylene (LDPE)* pada reaktor pirolisis sebesar 9,3138 kJ/s.

Kata Kunci: *burner*, metode Pahl & Beitz, faktor keamanan, nilai kalor.

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 813 1519 0664
email: ekamaulana@univpancasila.ac.id

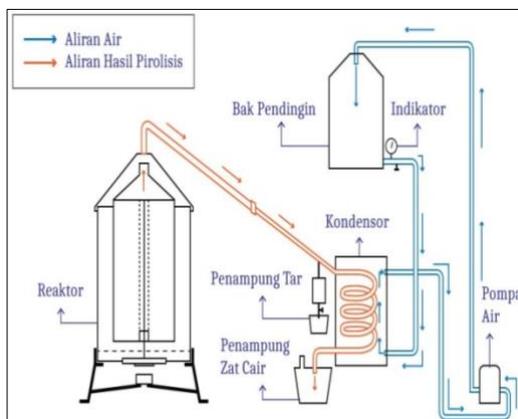


This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Di zaman sekarang ini, sampah plastik menjadi permasalahan yang cukup serius terhadap lingkungan karena jumlah sampah yang terus bertambah dari hari ke hari. Penambahan jumlah sampah yang terus meningkat ini menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan masyarakat, diantaranya munculnya zat kimia yang dapat mencemari tanah, sehingga berkurang tingkat manfaat dan kesuburannya dan menimbulkan aroma tak sedap. Pada saat ini, solusi untuk mengurangi sampah plastik yang banyak dilakukan yaitu dengan membakarnya. Cara tersebut memang akan mengurangi jumlah sampah plastik tetapi akan menimbulkan permasalahan baru, yaitu pencemaran udara dan emisi gas beracun *Hydro Chloric Acid* (HCl), *Hidrogen Cyanide* (HCN), dan Nitrogen Oksida (Nox) yang dapat mengganggu kesehatan masyarakat (Syamsiro, dkk. 2016). Ada berbagai cara untuk mengatasi masalah sampah plastik ini, salah satunya dengan mengubah sampah plastik menjadi Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan metode pirolisis.

Pirolisis merupakan dekomposisi suatu bahan pada suhu tinggi tanpa atau sedikit udara. Produk utama yang dihasilkan dari pirolisis adalah arang, minyak, dan gas. Dalam proses pirolisis perlu adanya pembakaran, sehingga material mentah (plastik) dapat mencair dan menjadi uap kemudian didinginkan dengan kondensor, sehingga menghasilkan Bahan Bakar Minyak (BBM) seperti pada Gambar 1 (Wahyudi, dkk. 2018)



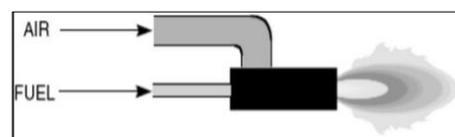
Gambar 1. Skema proses pirolisis (Wahyudi, dkk. 2018)

Alat yang digunakan untuk membakar plastik yaitu *burner*. *Burner* merupakan alat yang digunakan untuk mereaksikan secara baik antara bahan bakar dengan oksidator, sehingga dapat terjadi proses pembakaran. *Burner* merupakan komponen yang dapat menghemat bahan bakar yang dipakai pada saat proses pembakaran. Ada banyak faktor yang dapat mempengaruhi performa *burner* seperti bahan bakar yang dipakai, bentuk *head burner* sebagai tempat keluarnya api, material yang digunakan, serta pipa penghubung antara bahan bakar dengan *head burner*. Bahan bakar yang banyak dipakai untuk *burner*, yaitu *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) karena memiliki beberapa keunggulan seperti mudah pembakarannya, nilai kalor tinggi, dan ramah lingkungan. Selain LPG, *Refuse Derived Fuel* (RDF) juga telah banyak digunakan untuk *burner* karena memiliki beberapa keunggulan, yaitu heating value yang tinggi, kemudahan disimpan, ditangani, ditransformasikan, semakin sedikit emisi polutan yang dihasilkan (Rafla, dkk. 2017).

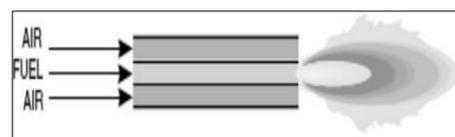
Burner menurut tipe pencampurannya dapat dibagi menjadi:

1. Premixed Burner

Pencampuran antara bahan bakar dan oksidator pada *burner* tipe ini dilakukan sebelum dipantik. *Burner* tipe ini menghasilkan api yang lebih pendek dan intens jika dibandingkan dengan pembakaran difusi (lihat Gambar 2). Kerugian *burner* tipe ini yaitu besarnya kadar emisi gas buang Nox. Oksidator yang biasa digunakan pada *burner* ini adalah udara (Kahardiansyah dan Sudarmanta 2017).



Gambar 2. Premixed burner (Kahardiansyah dan Sudarmanta, 2017)



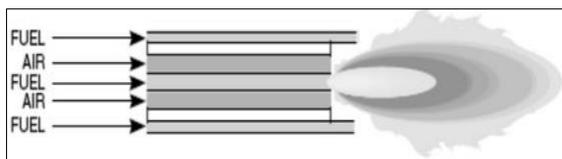
Gambar 3. Diffusion-mixed burner (Saefudin, dkk. 2018)

2. Diffusion-Mixed Burner

Pada *burner* tipe ini, pencampuran bahan bakar dan oksidator dilakukan setelah keduanya dipantik (lihat Gambar 3). Keuntungan dari *burner* ini adalah api yang lebih panjang dan temperatur api seragam. Jika oksidator yang digunakan oksigen murni maka penggunaan *burner* tipe ini untuk menghindari percikan balik (*flashback*) (Saefudin, dkk. 2018).

3. Partially Premixed Burner

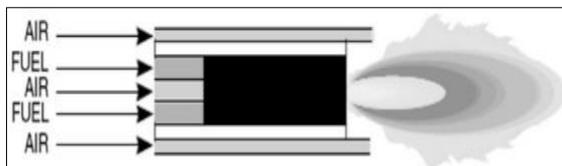
Burner tipe ini merupakan gabungan antara *premixed* dan *diffusion-mixed burner*. Pada bagian depan *burner*, ada sebagian oksidator dan bahan bakar yang telah ada dicampur terlebih dahulu sedangkan pada ujung *burner* (ketika akan dipantik) ada saluran suplai oksidator dan bahan bakar seperti yang terlihat pada Gambar 4 (Saefudin, dkk. 2018).



Gambar 4. Partially premixed burner (Saefudin, dkk. 2018)

4. Staged Burner

Burner ini mempunyai banyak tahap/tingkat pencampuran antara udara dan bahan bakar. Gambar 5 menunjukkan, bahwa *burner* ini bertujuan untuk mengontrol perpindahan panas, membuat api menjadi lebih panjang, dan mengurangi emisi gas buang seperti Nox (Saefudin, dkk. 2018).



Gambar 5. Staged burner (Saefudin, dkk. 2018)

Berdasarkan studi lapangan yang telah dilakukan di Laboratorium Mesin Universitas Pancasila ditemukan beberapa permasalahan pada *burner* yang telah ada, yaitu pemakaian bahan bakar yang boros, waktu yang dibutuhkan

untuk memanaskan reaktor pirolisis cukup lama, dalam proses penggunaannya masih terpisah antara *burner RDF* dengan *burner* bahan bakar gas, dan proses pemanasan *RDF* dilakukan di luar *burner* karena bentuk *burner* yang tidak memungkinkan untuk melakukan pemanasan *RDF* di dalam *body burner*. Gambar 6 menampilkan *burner* yang ada saat ini.

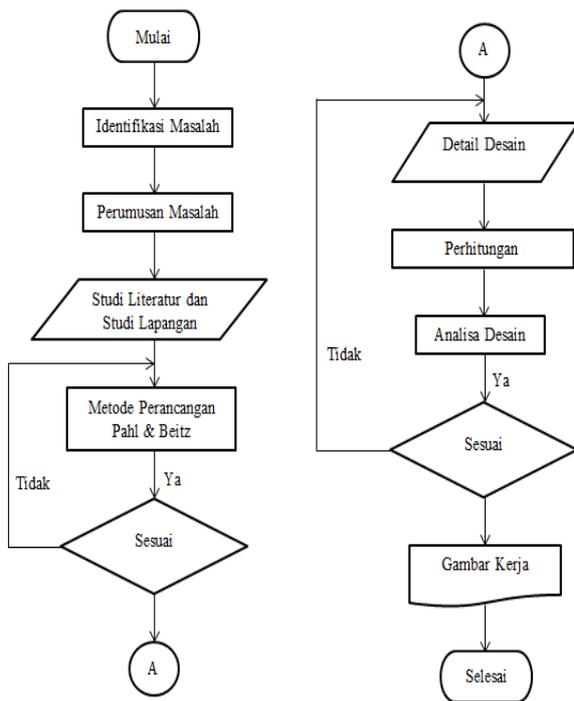


Gambar 6. Burner (a) Burner gas; (b) Burner RDF

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini, yaitu menghasilkan rancangan *burner* yang dapat melakukan pembakaran *RDF* di dalam *body burner* agar lebih mudah dalam proses pengoperasiannya, desain *valve* (katup) yang dilengkapi dengan *spuyer* diameter 5 mm bertujuan agar bahan bakar gas yang digunakan lebih irit karena bahan bakar gas keluar melalui lubang *spuyer*, desain *head burner* yang memiliki banyak lubang disertai diameter lubang yang lumayan besar membuat perpindahan panas lebih cepat dan api yang dihasilkan lebih besar. Selain itu, mendapatkan parameter perancangan, yaitu kekuatan rangka *burner*, kalor yang dibutuhkan untuk membakar plastik di dalam reaktor pirolisis, dan perhitungan proses manufakturnya.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dari tanggal 5 Oktober 2020 sampai 30 Januari 2021. Metode perancangan yang digunakan yaitu Metode Pahl & Beitz. Dalam suatu perancangan diperlukan suatu urutan atau alur pembuatan pengerjaan yang akan dilakukan kedepannya bertujuan agar proses perancangan dapat terstruktur dan mudah dalam memecahkan masalah pada saat perancangannya. Berikut merupakan diagram alir penelitian ini:



Gambar 7. Diagram alir penelitian

Berikut ini penjelasan dari diagram alir pada Gambar 7:

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah bertujuan untuk mendapatkan data terkait kelebihan dan kekurangan dari perancangan alat yang telah ada, serta mendapatkan informasi dari konsumen terkait perancangan alat yang sesuai kebutuhan agar hasil perancangan lebih baik dari sebelumnya dan sesuai dengan kebutuhan konsumen.

2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dilakukan untuk menentukan pokok permasalahan yang ada di latar belakang yang nantinya akan dibahas pada penelitian.

3. Studi Literatur dan Studi Lapangan

Studi literatur dilakukan untuk mencari referensi terkait dengan teori-teori yang berhubungan dengan pembahasan penelitian dan kasus permasalahan dari alat yang sudah ada. Sumber referensi dapat berupa jurnal, buku, paten, dan lain-lain.

Studi lapangan dilakukan dengan mengamati langsung alat yang sudah ada di suatu tempat, yaitu Laboratorium Mesin Universitas Pancasila untuk melihat cara kerja

burner dan performa burner dalam memanaskan reaktor pirolisis.

4. Metode Perancangan Pahl & Beitz

Di dalam metode perancangan Pahl & Beitz terdiri dari 4 tahapan yang di dalamnya terdapat beberapa sub tahapan. Berikut adalah keempat tahapan dari metode ini (Maulana, dkk. 2021):

- Penjelasan tugas dan perancangan
- Perancangan konsep produk (*conceptual design*)
- Perancangan bentuk produk (*embodiment design*)
- Perancangan detail (*detail design*)

5. Detail Desain

Pada tahap ini, desain yang terpilih sudah dalam bentuk 3 D. Kemudian, desain akan diberikan detail desain seperti dimensi, *bill of material*, toleransi, dan sebagainya.

6. Analisa Desain

Pada tahap ini, akan dilakukan analisa terhadap desain yang terpilih menggunakan *software* Solidworks. Data-data yang didapatkan dari analisa desain ini akan dijadikan sebagai tolok ukur desain berfungsi baik atau tidak.

7. Gambar Kerja

Gambar kerja merupakan sebuah gambar teknik yang dihasilkan dari desain terpilih yang berfungsi sebagai petunjuk dalam proses pembuatannya.

Berikut ini penjelasan dari 4 tahapan metode perancangan Pahl & Beitz pada perancangan burner untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas.

2.1. Perencanaan dan Penjelasan Tugas

Pada tahap ini, akan dibahas mengenai kriteria rancangan burner untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas.

1. Identifikasi Kebutuhan

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan data mengenai rancangan burner untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *RDF* dan gas yang sesuai dengan kebutuhan konsumen. Metode yang digunakan yaitu dengan membuat form kuisisioner yang akan dibagikan kepada pihak atau perseorangan yang

akan dibagikan kepada pihak atau perseorangan yang biasa menggunakan atau yang membutuhkan *burner* tersebut nantinya. Hasil kuisisioner akan digunakan sebagai informasi dalam proses perancangan alat agar dapat menghasilkan rancangan yang lebih baik lagi.

Berdasarkan hasil kuisisioner yang sudah diisi 30 responden, maka didapat kebutuhan dari perancangan *burner* untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *RDF* dan gas seperti Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan perancangan *burner* untuk reaktor pirolisis

No	Pertanyaan Kebutuhan	Tingkat Kepentingan
1	Bahan bakar yang digunakan hemat	● ●
2	Efisiensi waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan reaktor	● ●
3	Perawatan dan perbaikan mudah & murah	● ● ●
4	Alat mudah dioperasikan	● ● ●
5	Aman saat dioperasikan	● ● ●

2. Demand and Wishes

Tahap selanjutnya, menyiapkan daftar spesifikasi dengan membedakan persyaratan sebagai keharusan (*demand*) atau sebagai keinginan (*wishes*). *Demand* merupakan persyaratan yang harus dipenuhi dalam segala kondisi yang artinya apabila tidak dipenuhi maka solusi yang akan dicapai tidak akan diterima, sedangkan *wishes* merupakan persyaratan yang diinginkan pada sebuah proses perancangan dan ketika memungkinkan dapat di masukkan melalui pertimbangan. Berikut pada Tabel 2 menampilkan *demand and wishes* berdasarkan kebutuhan perancangan *burner* untuk reaktor pirolisis sesuai dengan metode Pahl & Beitz.

Tabel 2. Daftar persyaratan untuk perancangan *burner*

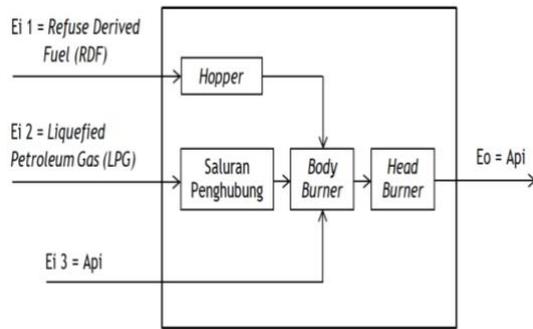
No	Aspek	D/W
1	Geometri	
	• Kontruksi yang kokoh dan kuat	D
	• Dimensi yang proporsional	D
2	Kinematika	
	• Burner mudah dioperasikan	D
3	Material	
	• Mudah didapatkan di pasaran	D
4	Manufaktur	
	• Proses pembuatan alat cepat	W
5	Perawatan	
	• Mudah dalam proses pembersihan komponen	D
	• Biaya perawatan relatif murah	D
6	Aplikasi	
	• Umur pemakaian relatif murah	D
	• Efisiensi waktu yang dibutuhkan dalam memanaskan reaktor	W
	• Bahan bakar yang digunakan hemat	W
7	Biaya	
	• Biaya produksi murah	W

Keterangan:

D : Demand W : Wishes

2.2. Perancangan Konsep Produk

Tahapan selanjutnya, setelah menentukan identifikasi kebutuhan yaitu perencanaan konsep produk. Tahapan ini akan menjabarkan mengenai diagram fungsi perancangan *burner* untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas. Diagram fungsi bertujuan untuk mendapatkan *input* dan *output* dari perancangan alat yang akan dibuat dan mengetahui prinsip kerja dari alat tersebut. Gambar 8 menunjukkan diagram fungsi dari perancangan *burner* untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *RDF* dan gas.

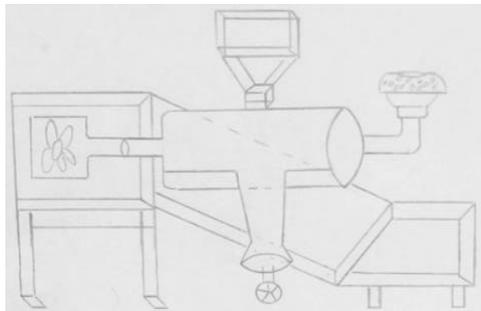


Gambar 8. Diagram fungsi

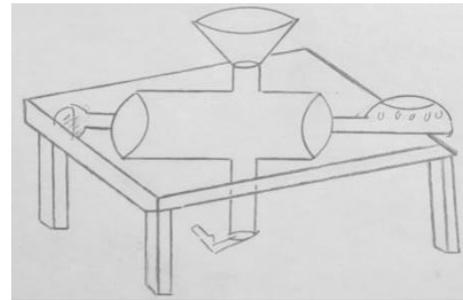
Berdasarkan Gambar 8, energi input yang digunakan yaitu *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*. Adapun proses hingga bisa menghasilkan energi output yang berupa api, yaitu pertama *RDF* di masukkan ke dalam *hopper* menuju *burner body*, kemudian di dalam *burner body*, *RDF* akan dibakar menggunakan bahan bakar *LPG* yang berasal dari saluran penghubung, setelah *RDF* terbakar kemudian blower dinyalakan untuk memperbesar tekanan api yang akan digunakan untuk memanaskan reaktor.

1. Morphology Chart

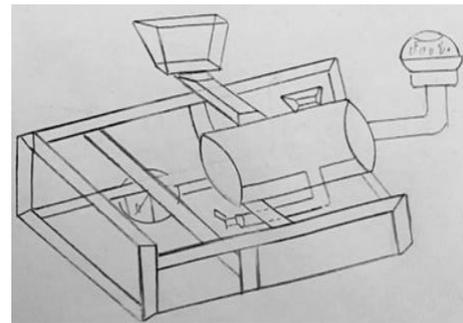
Morphology chart berisi elemen-elemen, komponen, atau sub solusi yang lengkap yang dapat dikombinasikan. *Morphology chart* bertujuan untuk mendapatkan varian-varian dari komponen yang telah dibuat dan dikombinasikan. Berikut ini hasil dari *morphology chart* perancangan burner untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas. Varian dari konsep desain yang dihasilkan dari *morphology chart* dilihat pada Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 9. Varian 1



Gambar 10. Varian 2



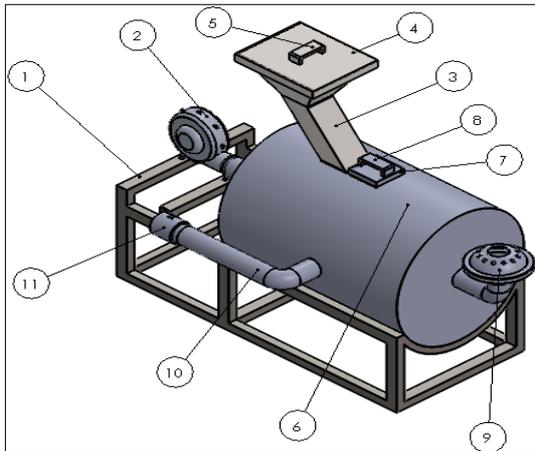
Gambar 11. Varian 3

2. Pembobotan Varian

Dari ketiga varian tersebut, salah satunya akan dipilih untuk dilanjutkan ke tahap perancangan detail berdasarkan hasil pembobotan varian. Ada beberapa kriteria penilaian varian, yaitu fungsi, perawatan, manufaktur, dan efisiensi. Untuk skala penilaian dari masing-masing kriteria, yaitu berkisar dari 1-4. Dari ke tiga varian tersebut, varian 1 mendapatkan nilai (2,9), varian 2 mendapatkan nilai (2,7), dan varian 3 mendapatkan nilai (3,06). Varian 3 menjadi varian terpilih karena mendapatkan hasil pembobotan tertinggi dan akan dilanjutkan ke tahap perancangan detail.

2.3. Perancangan Detail

Setelah terpilihnya satu varian dari hasil pembobotan varian, tahap selanjutnya yaitu perancangan detail. Perancangan detail merupakan gambar keseluruhan komponen varian burner yang terpilih. *Software* yang digunakan untuk menggambar, yaitu *Solidworks 2018*. Gambar 12 merupakan gambar detail desain dari varian 3.



Gambar 12. Detail desain terpilih

Tabel 3 menampilkan keterangan dari spesifikasi dari desain terpilih pada Gambar 12.

Tabel 3. Spesifikasi dari desain terpilih

No	Nama Bagian	Bahan
1	Rangka	AISI 1045
2	Blower	Aluminium
3	Hopper	Plain Carbon Steel
4	Tutup Hopper	Plain Carbon Steel
5	Gagang Tutup Hopper	Plain Carbon Steel
6	Body Burner	AISI 1345
7	Tutup Body Burner	AISI 1345
8	Gagang Tutup Body Burner	Plain Carbon Steel
9	Head Burner	AISI 1345
10	Salurang Penghubung	AISI 52045
11	Valve	Stainless Steel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan memuat mengenai perhitungan dan analisis simulasi yang dilakukan pada penelitian ini.

3.1. Perhitungan Perancangan

Berikut ini perhitungan-perhitungan yang dilakukan pada perancangan burner untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas.

1. Perhitungan pemotongan rangka.

Pemotongan pada batang rangka dengan menggunakan gerinda potong mengikuti acuan seperti Gambar 13 dengan

menggunakan rumus spesifikasi sebagai berikut (Hidayat dan Prayogi, 2021):



Gambar 13. Spesifikasi besi hollow

a. Mencari gerak makan radial gerinda:

$$Fr = ap(1 + k) \quad (1)$$

$$k = ap \frac{dw \times lw}{G \times ds \times bs} \quad (2)$$

Keterangan:

ap: Kedalaman penggerindaan yang diinginkan

k: Kompensasi karena keausan batu gerinda dan pengecilan diameter benda kerja

Fr: Gerak makan radial yang diatur pada mesin (mm/langkah)

dw: Diameter (mula) benda kerja (mm)

lw: Panjang benda kerja yang digerinda (mm)

ds: Diameter (mula) gerinda (mm)

bs: Lebar (aktif) gerinda (mm)

G: Rasio penggerindaan

maka:

$$k = \frac{30 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}}{1 \times 355 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}} = 0,084$$

$$Fr = 0,05 (1 + 0,084) = 0,0542 \frac{\text{mm}}{\text{langkah}}$$

Nilai Fr tersebut untuk pemakanan satu kali mesin gerinda.

b. Untuk mencari putaran mesin gerinda:

$$n = \frac{POS \times 1000 \times 60}{\pi \times d} \quad (3)$$

$$n = \frac{63 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1000 \times 60}{3,14 \times 355 \text{ mm}} = 3593,5 \text{ rpm}$$

Keterangan:

- POS: Kecepatan keliling dalam (m/s)
 n: Putaran mesin/menit (rpm)
 d: Diameter gerinda (mm)
 60: Konversi menit ke detik
 1000: Konversi satuan ke milimeter

c. Perhitungan gaya potong gerinda:

$$F_t = \frac{E_{sp} \times Z}{V_s} \quad (4)$$

$$Z = F_r \times b_s \times V_{ft} \quad (5)$$

Keterangan:

- V_{ft}: Kecepatan makan tangensial (mm/s)
 F_r: Gerak makan radial (mm/langkah)
 E_{sp}: Energi penggerinda spesifik (J/mm)
 Z: Kecepatan penghasil gram
 b_s: Lebar batu gerinda (mm)

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{3,14 \times d \times n}{60000} \\ &= \frac{3,14 \times 355 \times 3593,5}{60000} \\ &= 66,76 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= 0,0542 \times 355 \times 66,76 \\ &= 1,284 \text{ mm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{100 \frac{\text{J}}{\text{mm}^3} \times 1,284 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}}}{66,76 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \\ &= 1,923 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

d. Waktu pemesinan gerinda potong:

$$\begin{aligned} t_m &= \frac{t_g \times l \times t_b}{s_r \times n} \quad (6) \\ t_m &= \frac{3 \times 250 \times 3}{0,15 \times 3593,5} = 3,92 \text{ menit} \end{aligned}$$

Keterangan:

- t_m: Waktu pemesinan (menit)
 t_g: Tebal mata gerinda (mm)
 s_r: Tebal pemakanan (mm)
 l: Panjang material (mm)

t_b: Tebal material (mm)

2. Daya yang dibutuhkan untuk pengelasan SMAW.

Untuk melakukan perhitungan daya listrik digunakan persamaan di bawah ini (Saputra, dkk. 2017).

$$P = I \times E \quad (7)$$

$$P = 120 \text{ A} \times 220 \text{ V} = 26400 \text{ W}$$

Keterangan:

- P: Daya yang dibutuhkan (W)
 I: Arus yang digunakan (A) = 120 A
 E: Tegangan yang digunakan (V) = 220 V

3. Perhitungan pengelasan (Rao, 2014).

a. Menghitung kebutuhan las yang digunakan:

$$G = \frac{GL \times P}{DE} \quad (8)$$

$$G = \frac{0,251 \times 0,12}{0,62} = 0,048 \text{ kg}$$

Keterangan:

- GL: Berat logam las persatuan panjang = 0,251 kg/m
 P: Jumlah panjang sambungan las = 120 mm (0,12 m)
 DE: *Deposition efficiency* SMAW = 62% (0,62%)

b. Kekuatan tarik pengelasan pada batang rangka

$$F_t = t \times L \times \sigma_t \quad (9)$$

$$\sigma_t \frac{\sigma}{k} = \frac{125}{1} = 125$$

$$F_t = 3 \times 120 \times 125 = 4,50 \text{ N/mm}^2$$

Keterangan:

- F_t: Kekuatan tarik pengelasan
 t: Tebal lasan = 3 mm
 L: Panjang lasan = 120 mm
 σ_t: Tegangan tarik izin bahan las

4. Perhitungan kalor yang dibutuhkan

Dalam perancangan *burner*, diperlukan data untuk mengetahui kapasitas yang dibutuhkan pirolisis untuk membakar plastik yang ada pada reaktor. Pada perancangan ini, plastik yang digunakan yaitu jenis *Low Density Polyethylene (LDPE)*. Ada beberapa faktor yang menyebabkan dipilihnya plastik *LDPE*, yaitu banyak ditemukan di lingkungan sekitar kita dan memiliki titik leleh yang rendah sebesar 112°C , sehingga bisa memaksimalkan nilai kalor yang dibutuhkan dalam pemanasan reaktor. Diasumsikan data pirolisis dan plastik *LDPE* seperti [Tabel 4](#) dan [Tabel 5](#).

- Data bahan plastik *Low Density Polyethylene (LDPE)*:

Tabel 4. Spesifikasi plastik *LDPE*

No	Parameter	Nilai
1	Density	0,91-0,94 g/cm ³
2	Heat of Combustion (HOC)	45 MJ/kg
3	T onset of melting	112°C
4	Spesific Heat Capacity (Cp)	2300 J/kg°C
5	Heat of Fursion (L)	98000 J/kg°C
6	Heat of Vaporization (U)	670000 J/kg°C

- Data pirolisis yang akan dirancang:

Tabel 5. Spesifikasi reaktor

No	Parameter	Nilai
1	Kapasitas reaktor	15 kg/jam
2	Temperatur pemanasan reaktor	485°C
3	Temperatur ruang bakar	900°C

Perhitungan kalor yang dibutuhkan untuk reaktor dengan kapasitas 15 kg menggunakan rumus di bawah ini ([Saefudin, dkk. 2018](#)):

$$Q \text{ total} = Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 \quad (10)$$

$$Q1 = m + C_{P LDPE} (T_1 - T_0) \quad (11)$$

$$\begin{aligned} Q1 &= 15 \text{ kg} + 2300 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \times (11 - 35)^{\circ}\text{C} \\ &= 2656500 \text{ J} \\ &= 26565 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q2 = m \times L_{LDPE} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} Q2 &= 15 \text{ kg} \times 98000 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \\ &= 1470000 \text{ J} \\ &= 1470 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q3 = m \times C_{P LDPE} (T_2 - T_1) \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Q3 &= 15 \text{ kg} \times 2300 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \times (300 - 112)^{\circ}\text{C} \\ &= 6486000 \text{ J} \\ &= 6486 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q4 = m \times U_{LDPE} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} Q4 &= 15 \text{ kg} \times 670000 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \\ &= 10050000 \text{ J} \\ &= 10050 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q5 = m \times C_{LDPE} \times (T_3 - T_2) \quad (15)$$

$$\begin{aligned} Q5 &= 15 \text{ kg} \times 2300 \frac{\text{J}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} \times (485 - 112)^{\circ}\text{C} \\ &= 12868500 \text{ kJ} \\ &= 12868 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q \text{ total} &= Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 \\ &= 2656 \text{ kJ} + 1470 \text{ kJ} + 6486 \text{ kJ} \\ &\quad + 10050 \text{ kJ} + 12868 \text{ kJ} \\ &= 33530 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$Q \text{ total} = \frac{33530 \text{ kJ}}{3600 \text{ s}} = 9,3138 \text{ kJ/s}$$

Keterangan:

Q total: Kalor yang dibutuhkan dalam pemanasan pada reaktor (kJ)

m : massa (kg)

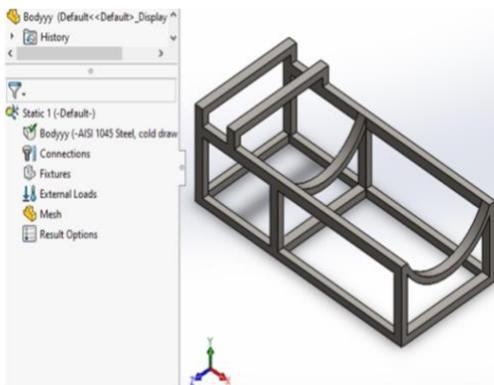
$C_{P LDPE}$: Kalor jenis *LDPE* (2300 J/kg°C)

T : Temperatur (°C)

3.2. Analisis Simulasi

Analisis simulasi merupakan tahapan yang dilakukan untuk mengetahui nilai von *misses stress*, *displacement*, dan *static strain* pada rangka ketika diberikan pembebanan hingga akhirnya bisa menentukan *safety factor*. *Software* yang digunakan untuk menganalisa rangka *burner* yaitu Solidworks 2018. Tujuan dari analisis ini untuk menghasilkan *output* berupa data mengenai material yang digunakan oleh rangka dan juga dapat menentukan kuat atau tidaknya rangka tersebut menahan beban. Berikut ini langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis beban *static* rangka *burner*.

1. Pertama, berikan material yang digunakan pada rangka *burner*, yaitu *AISI 1045* (lihat Gambar 14).



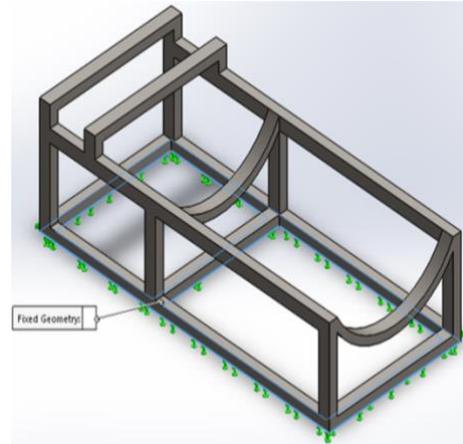
Gambar 14. Pemilihan bahan rangka *burner*

2. Setelah itu, akan muncul tampilan tabel properties dari *AISI 1045* seperti Gambar 15 yang akan menjadi acuan untuk menghitung faktor keamanan. Di mana acuannya adalah nilai *yield strength* sebesar 530000000 N/m^2 .

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2.05×10^{11}	N/m^2
Poisson's Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	8×10^{10}	N/m^2
Mass Density	7850	kg/m^3
Tensile Strength	625000000	N/m^2
Compressive Strength		N/m^2
Yield Strength	530000000	N/m^2
Thermal Expansion Coefficient	1.15×10^{-5}	$/\text{K}$

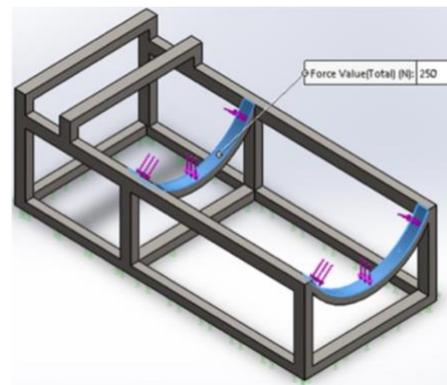
Gambar 15. Tabel properties *AISI 1045*

3. Kemudian, berikan *fixed* geometri pada permukaan bawah rangka untuk memastikan rangka dalam keadaan diam bila diberikan *force* seperti yang terlihat pada Gambar 16.



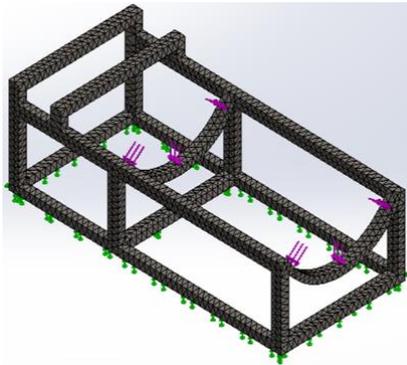
Gambar 16. Pemberian *fixed* geometri pada rangka *burner*

4. Langkah selanjutnya, yaitu memberikan *force* pada permukaan yang menerima beban. Adapun komponen yang memberikan beban, yaitu *body burner*, *hopper*, tutup *hopper*, tutup *body burner*, saluran penghubung, *head burner*, dan *valve*. Semua komponen tersebut memberikan beban sebesar 250 N seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Pemberian *force* pada rangka *burner*

5. Kemudian, lakukan *meshing* pada rangka. Proses ini memecah *Computer Aided Design (CAD)* menjadi elemen-elemen kecil dan tipe elemen yang dihasilkan berupa elemen solid. Adapun *meshing* yang digunakan pada kasus ini yaitu tipe *standard mesh* pada *mesh* parameter dengan ukuran *mesh* menengah diantara *coarse* dan *fine* seperti pada Gambar 18.

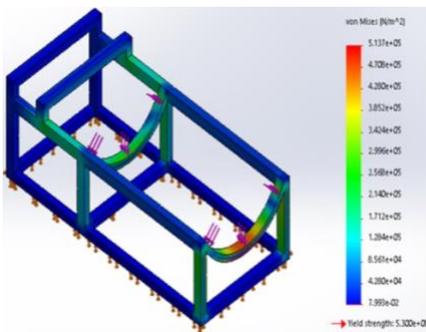


Gambar 18. Proses *meshing* pada rangka burner

6. Tahap selanjutnya, yaitu melakukan proses analisa. Untuk mengetahui bahwa analisa yang dilakukan sudah benar, akan mendapatkan 3 hasil yaitu *von misses stress*, *displacement*, dan *static strain*.

a. *Von Misses Stress*

Berdasarkan Gambar 19, diperoleh nilai minimal sebesar $7,993 \times 10^{-2} \text{ N/m}^2$ dan maksimal $5,137 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ yang artinya bila dilihat dari warna komponen setelah dianalisa berwarna biru kehijauan dapat disimpulkan bahwa dimensi dan material yang digunakan aman untuk menahan beban 250 N.

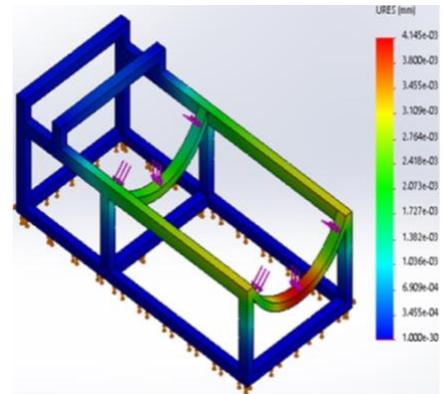


Gambar 19. *Von misses stress* pada rangka burner

b. *Displacement*

Berdasarkan Gambar 20, pada rangka burner untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas mengalami *displacement* karena *force* yang diberikan. Dapat dilihat dari gambar di atas, untuk nilai *displacement* maksimal $4,145 \times 10^{-3} \text{ mm}$ dan nilai *displacement* minimal $1,000 \times 10^{-30} \text{ mm}$. Jika dilihat dari gambar di atas, warna rangka masih

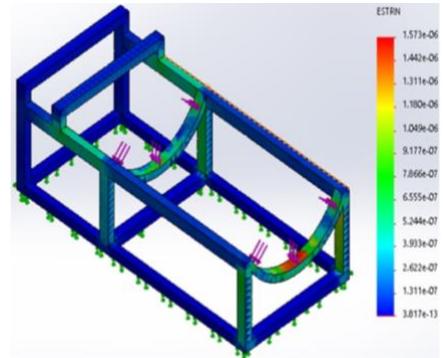
berwarna biru, hijau, dan kuning yang menyatakan bahwa *displacement* yang dialami masih dalam batas aman.



Gambar 20. Analisis *displacement* pada rangka burner

c. *Static Strain*

Berdasarkan Gambar 21, nilai minimal *static strain* pada rangka burner sebesar $3,817 \times 10^{-13}$ dan nilai maksimal sebesar $1,573 \times 10^{-6}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa rangka dalam keadaan aman.



Gambar 21. Analisis *static strain* pada rangka burner

d. Faktor Keamanan

Persamaan 12 yang ditampilkan digunakan untuk mencari faktor keamanan terhadap kekuatan rangka yang dianalisis (Mustaqiem dan Nurato, 2020).

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t} \quad (12)$$

$$n = \frac{530000000 \text{ N/m}^2}{5,137 \times 10^5 \text{ N/m}^2} = 1,031 \times 10^{-3}$$

Keterangan:

- n : Faktor keamanan
 S_y : *Yield Strength* material (N/m²)
 σ_t : Tegangan *von misses* maksimum (N/m²)

Berdasarkan hasil analisa simulasi dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa rangka kuat dalam menahan beban karena nilai *von misses* maksimum masih di bawah nilai *yield strength* material sedangkan untuk hasil perhitungan faktor keamanan, dapat disimpulkan bahwa rangka kuat dalam menahan bebas statis yang diberikan karena hasil perhitungannya masih masuk rentang nilai batas aman beban statis, yaitu 1-2.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan bahwa perancangan yang dilakukan menggunakan metode Pahl & Beitz yang terdiri dari empat fase, yaitu penjelasan tugas dan perancangan, perancangan konsep produk, perancangan bentuk produk, dan perancangan detail. Setelah melewati empat fase tersebut didapatkan 3 varian desain *burner* untuk reaktor pirolisis dengan bahan bakar *Refuse Derived Fuel (RDF)* dan gas. Varian 3 menjadi varian terpilih karena mendapatkan nilai pembobotan tertinggi dan akan dilanjutkan ke tahap perancangan detail dan analisa desain. Sedangkan hasil analisis kekuatan rangka *burner* dengan menggunakan material AISI 1045 didapatkan nilai faktor kewanaman, yaitu $1,031 \times 10^{-3}$ sehingga rangka aman digunakan. Selain itu, didapatkan juga nilai kalor yang dibutuhkan untuk membakar plastik *Low Density Polyethylene (LDPE)*, yaitu 9,3138 kJ/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Hidayat, A., M., N. dan Prayogi, E., 2021. Perancangan Proses Manufaktur Mesin Kompos Cair Dari Sampah Buah. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, Vol. 3, No. 1, hal. 43-56.
- Kahardiansyah, F. dan Sudarmanta, B., 2017. Studi Eksperimen Burner *Type Partially Premixed* Dengan Bahan Bakar *Syngas* Biomassa Serbuk Kayu Dengan Variasi Diameter *Outlet* Bahan Bakar. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 1, No. 2, hal. 1-5.
- Maulana, E., Djatmiko, E., Mahandika, D. dan Putra, R., C., 2021. Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U Untuk Kapasitas 100 W. *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, Vol. 3, No. 2, hal. 183-190.
- Mustaqiem, A., D dan Nurato., 2020. Analisis Perbandingan Faktor Keamanan Rangka *Scooter* Menggunakan Perangkat Lunak Solidwork 2015. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 09, No. 3. hal. 164-172.
- Syamsiro, M., Hadiyanto, N., dan Mufrodi, Z., 2016, Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Sebagai Bahan Baku Mesin Pirolisis Skala Komunal. *Jurnal Menanikal dan Sistem Termal (JMST)*, Vol. 1(2), hal. 43-48.
- Rafli, R., Fajri, H. B., Jamaludhin, A., Azizi, M., Riswanto, M. dan Syamsiro, M., 2017. Penerapan Teknologi Pirolisis Untuk Konversi Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak di Kabupaten Bantul. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)*, Vol. 2(1), hal. 1-5.
- Rao, P. N., 2018. *Manufacturing Technology—Metal Cutting and Machine Tools, 4e (Volume II)*, New York: McGraw-Hill Education.
- Saefudin, S., Maulana, E., dan Djatmiko, E., 2018. Perancangan Alat Pengapian Pada Tungku Kapasitas 10 kg. *Seminar Nasional Teknologi Universitas Krisnadwipayana*.
- Saputra, H., Syarief A. dan Maulana, Y., 2017. Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik Baja ST 37 Pasca Pengelasan Menggunakan Las Listrik. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, Vol. 3, No. 2, hal. 91-98.
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T. dan Astuti, A. D., 2018. Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Litbang*, Vol. XIV, No. 1, hal. 58-67.