

SUBMISSION 86

Desain Reaktor Biodigester untuk Pembangkit Listrik Kapasitas 0,6 MW

Eka Maulana, Dwi Rahmalina, Much. Ihsan Fadillah*, La Ode M. Firman, Sorimuda Harahap, dan Agri Suwandi
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, 12640 Jakarta

Abstrak. Kebutuhan akan energi listrik di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Kebutuhan akan energi listrik ini dipengaruhi oleh penambahan jumlah penduduk dan kemajuan perkembangan teknologi, namun pada sisi lain produksi sampah di Indonesia pun juga semakin meningkat. Seiring pertumbuhan sampah yang meningkat pirolisis mulai akrab digunakan untuk mengubah sampah menjadi minyak plastik yang dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar solar. Hal ini dilakukan bertujuan untuk membantu menangani masalah sampah dan juga kebutuhan akan bahan bakar. Namun dari reaktor pirolisis tersebut terdapat panas hasil pembakaran plastik yang cukup besar dan terbuang begitu saja. Maka dari itu panas ini akan dimanfaatkan dan diubah menjadi energi listrik. Pada penelitian ini akan di jelaskan tentang bagaimana merancang dari pembangkit itu sendiri, dimulai dari indentifikasi kebutuhan, pembuatan konsep, pemilihan konsep, pemberian bentuk konsep, perancangan detail, serta analisa dari aliran fluida pada turbin uap ini. Sistem kerja dari pembangkit listrik tenaga uap ini yaitu dengan memanfaatkan energi kalor terbuang dari reaktor pirolisis yang kemudian akan di tangkap oleh *heat exchanger* yang kemudian akan memanaskan air didalamnya dan air tersebut akan berubah menjadi uap untuk menggerakkan turbin. Turbin inilah yang akan menggerakkan generator dan menghasilkan energi listrik. Dari hasil seleksi pemilihan varian yang telah dilakukan didapatkan bahwa hasil total pembobotan untuk varian 1 adalah sebesar 3,28 dan varian 2 sebesar 3,6. Dan hasil perhitungan nilai keseluruhan varian konsep dari varian 1 adalah 0,273 sedangkan varian 2 adalah sebesar 0,3, maka varian 2 merupakan varian terpilih dengan hasil bobot yang lebih tinggi dibandingkan dengan varian 2. Data dari hasil analisis sistem yang telah dilakukan didapatkan bahwa temperatur keluaran uap yang paling tinggi adalah 161.86531°C.

Kata kunci- *Insenerator, PLTU, Pirolisis*

1. PENDAHULUAN

Ketergantungan umat manusia terhadap pemanfaatan energi listrik dari waktu ke waktu terus meningkat, sehingga tidak bisa dipungkiri lagi bahwa listrik sudah termasuk ke dalam kebutuhan pokok yang tidak mungkin diabaikan. Namun disisi lain pertumbuhan produksi sampah semakin meningkat setiap tahunnya. Dari data di Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KNLH) tahun 2008 menyebutkan, Indonesia menghasilkan sampah sebanyak 38,5 juta ton/tahun. Pulau Jawa menjadi penyumbang terbesar dengan menghasilkan 21,2 juta ton/tahun sampah disusul oleh Pulau Sumatera yang menghasilkan 8,7 juta ton/tahun. Total keseluruhan sampah tersebut berasal dari sampah pemukiman (perumahan, apartemen, dan lain-lain) dan sampah non-pemukiman (industri, rumah sakit, institusi dan lain-lain). [1]

Demi membantu menangani masalah tersebut reaktor pirolisis mulai akrab digunakan untuk merubah plastik menjadi minyak plastik yang bisa di gunakan sebagai campuran untuk bahan bakar. Namun pada reaktor pirolisis terdapat panas yang terbuang begitu saja dan tidak ada pemanfaatan lebih lanjut, dan suhu yang terbuang pun cukup tinggi yaitu 221°C.

* Corresponding author: ichsan_fadillah29@yahoo.com

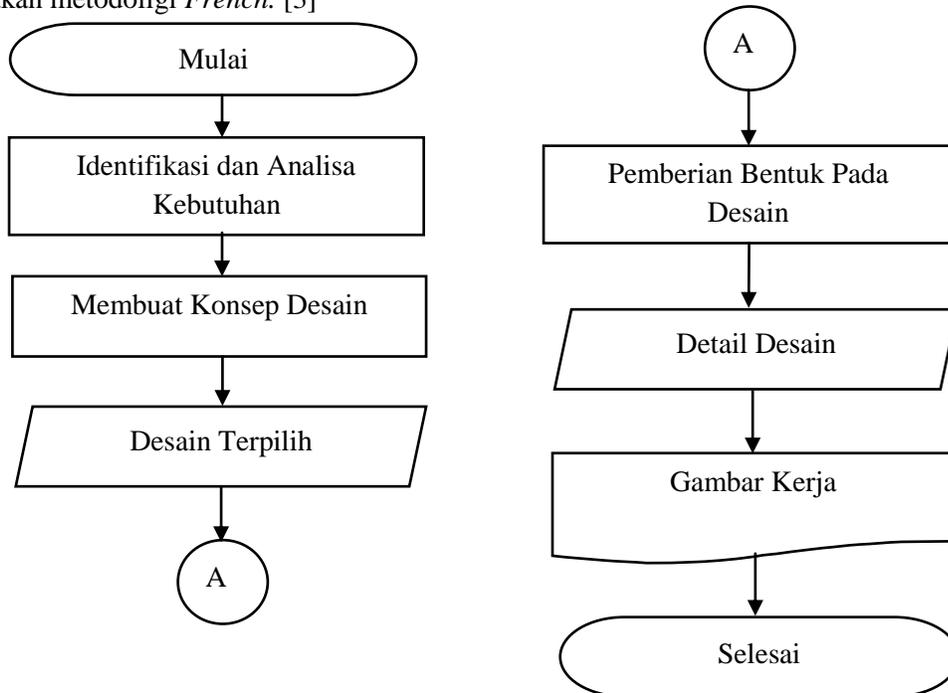
Maka dari itu demi memanfaatkan energi panas yang terbuang dari reaktor pirolisis ini akan dirancang pembangkit listrik tenaga uap mikro yang memanfaatkan panas terbuang dari proses pembakaran reaktor pirolisis tersebut. Pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yaitu Realisasi Pembangkit Mini Tenaga Sampah oleh Biyan Aqsha, Ir. Sarwoko M.Sc, dan Ekki Kurniawan S.T.M.Sc di Universitas Telkom pada tahun 2015 telah dihasilkan pembangkit listrik dengan tekanan uap sebesar 20 Psi dan didapatkan tegangan sebesar 23.1 V, dan daya rata-rata yang dihasilkan adalah sebesar 0,079 W [2]. Maka dari itu penelitian ini pembangkit dibuat dengan menggunakan konsep seperti PLTUSL pada umumnya dimana terdapat *heat exchanger*, turbin, dan generator. Namun perancangan PLTUSL dikondisikan agar bisa memanfaatkan panas terbuang yang kemudian diterima oleh *heat exchanger* untuk memanaskan air yang akan diubah menjadi uap. Perancangan juga dilakukan dengan menyesuaikan bentuk saluran panas buang pada reaktor pirolisis. Hasil dari penelitian ini adalah berupa desain perancangan pembangkit listrik tenaga uap yang memanfaatkan energi panas terbuang hasil pembakaran proses pirolisis. Berikut adalah skema dari PLTUSL yang akan dirancang.



Gambar 1 Skema PLTU

2. Metodologi Perancangan

Berikut ini akan dijelaskan bagaimana tahapan-tahapan dalam perancangan pembangkit listrik tenaga uap mikro yang memanfaatkan energi panas terbuang hasil pembakaran proses pirolisis dengan menggunakan metodologi *French*. [3]



Gambar 2 Metode french

Identifikasi kebutuhan data diperlukan sebagai dasar utama untuk kebutuhan perancangan seperti apa yang akan di lakukan. Identifikasi berikut dilakukan pada bagian *exhaust channel* reaktor pirolisis yang akan di gunakan ukuran panjangnya sebagai dasar ukuran panjang perancangan PLTUSL.



Gambar 3 *Channel*

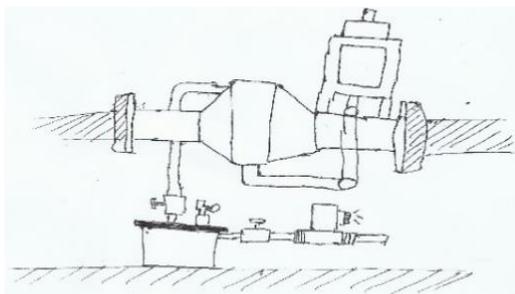
Didapatkan data pengukuran pada *Channel*:

Panjang	= 500 mm	Ketebalan Plat <i>Channel</i>	= 2 mm
Lebar	= 100 mm	Baut	= M10
Tinggi	= 130 mm		

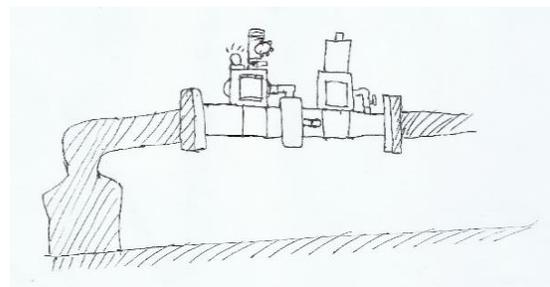
3. Hasil dan Pembahasan

A. Perancangan

Perancangan dilakukan berdasarkan identifikasi kebutuhan yang sudah didapatkan untuk digunakan sebagai landasan dalam penelitian ini. Dari identifikasi kebutuhan dan pembuatan konsep desain dasar telah didapatkan 2 varian alat yang kemudian akan diseleksi yaitu pada gambar 3 yang merupakan sketsa dari varian 1 dan varian 2.



Varian 1
(a)



Varian 2
(b)

Gambar 4 Konsep varian

Setelah terbentuk varian dari konsep desain, pembobotan dilakukan untuk menentukan nilai varian mana yang lebih baik. Pada tabel 1 dan tabel 2 merupakan tabel kriteria evaluasi pembobotan

Tabel 1 Kriteria Evaluasi Pembobotan Varian 1

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Varian 1		
				A	P	HB
1	Dapat Menghasilkan Arus Listrik	0,2	Kinerja	Baik	4	0,8
2	Dimensi Panjang Alat Sesuai Dengan Channel	0,2	Desain	Baik	3	0,6
3	Tahan Panas	0,2	Kinerja	Cukup	4	0,8
4	Kuat	0,15	Kinerja	Baik	4	0,6
5	Mudah Diproduksi	0,12	Kinerja	Cukup	2	0,24
6	Hemat Biaya Produksi	0,08	Konsumsi	Cukup	3	0,24
JUMLAH HASIL BOBOT (HB)						3,28

Tabel 2 Kriteria Evaluasi Pembobotan Varian 2

No	Kriteria Evaluasi	B	Parameter	Varian 1		
				A	P	HB
1	Dapat Menghasilkan Arus Listrik	0,2	Kinerja	Baik	4	0,8
2	Dimensi Panjang Alat Sesuai Dengan Channel	0,2	Desain	Baik	4	0,8
3	Tahan Panas	0,2	Kinerja	Cukup	4	0,8
4	Kuat	0,15	Kinerja	Baik	4	0,6
5	Mudah Diproduksi	0,12	Kinerja	Cukup	3	0,36
6	Hemat Biaya Produksi	0,08	Konsumsi	Cukup	3	0,24

JUMLAH HASIL BOBOT (HB)	3,6
-------------------------	-----

Untuk menentukan nilai keseluruhan varian konsep (*determining overall weighing value/OWV*) untuk menentukan *rating* varian diatas digunakan rumus sebagai berikut:

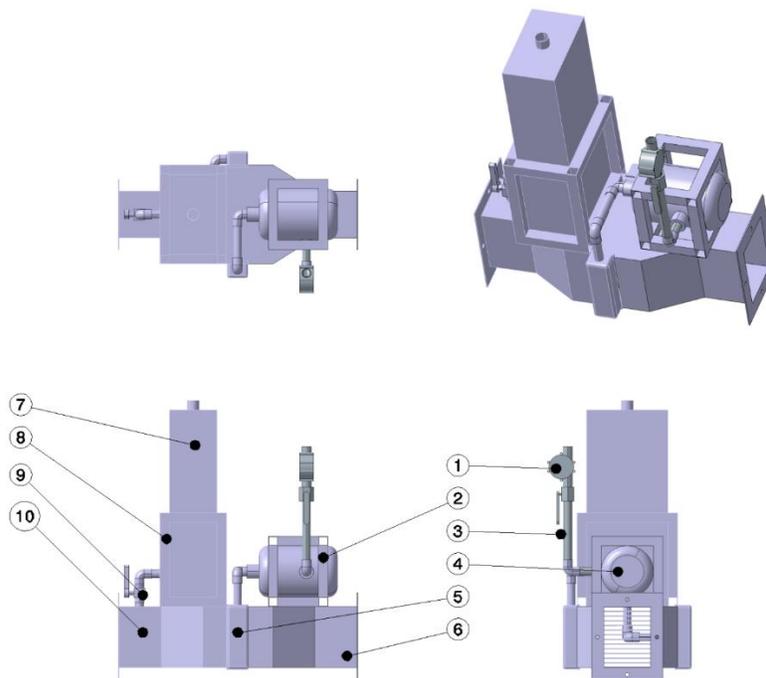
$$WRJ = \frac{owv_j}{V_{MAX} \cdot \sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

Nilai akhir:

$$\text{Varian 1} = WRJ = \frac{3,28}{2 \times 6} = 0,273$$

$$\text{Varian 2} = WRJ = \frac{3,6}{2 \times 6} = 0,3$$

Didapatkan dari evaluasi pembobotan hasilnya adalah varian 2 memiliki nilai yang lebih baik dari varian 1. Dan berikut pada Gambar 4 merupakan bentuk 3d dari varian terpilih.



Gambar 5 Bentuk Varian

Keterangan :

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. Generator | 6. Channel 2 |
| 2. Dudukan <i>Vessel</i> | 7. Tabung Inlet Air |
| 3. Pipa | 8. Dudukan Tabung Inlet Air |
| 4. <i>Vessel</i> (Tabung Uap) | 9. Valve (Katup) |
| 5. Radiator | 10. Channel 1 |

Rencana Perancangan

Material Channel	= Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)
Tekanan perancangan	= 5 bar
Diameter luar pipa	= 3/8" (16 mm)
Material Pipa	= Stainless Steel - Grade 304 (UNS S30400)

B. Perhitungan Beban Ijin Sambungan

Perhitungan beban ijin sambungan dilakukan untuk menyatakan berapa total beban yang diijinkan pada baut M10 yang digunakan oleh alat ini.

Perhitungan Berat Keseluruhan PLTUS

Volume Tabung Inlet

$$V = p \times l \times t \quad (2)$$

$$V = 0,169 \text{ m} \times 0,098 \text{ m} \times 0,398 \text{ m}$$

$$V = 0,06591 \text{ m}^3$$

Massa Air

$$m = \rho V \quad (3)$$

$$m = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,06591 \text{ m}^3$$

$$m = 6,591 \text{ kg}$$

Gaya Air

$$F = m \times g \quad (4)$$

$$F = 6,591 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_A = 64,65771 \text{ N}$$

Gaya PLTUS

Ukuran massa PLTUS yang telah diukur adalah 11,19 kg maka:

$$F = m \times g$$

$$F = 11,19 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{PLTUS} = 109,7739 \text{ N}$$

Total Gaya

Total berat adalah berat air dijumlahkan dengan berat PLTUS

$$F_{Total} = F_A + F_{Total}$$

$$F_{Total} = 64,65771 \text{ N} + 109,7739 \text{ N}$$

$$F_{Total} = 174,43161 \text{ N}$$

Gaya maksimal yang dapat diterima oleh baut

Baut yang digunakan adalah baut M10 dengan *property class* 4,6 dengan tegangan tarik ijin sebesar $\sigma_t = 400 \text{ Mpa}$.

$$P = \frac{\pi}{4} \times (dc)^2 \times \sigma_t \times n \quad (5)$$

$$P = \frac{3,14}{4} \times (8,160)^2 \times 400 \text{ Mpa}$$

$$P = 167263,0272 \text{ N}$$

Sambungan baut dikatakan aman sebab beban yang diterima baut (beban alat) adalah sebesar 174,43161 N. Sedangkan beban maksimal yang dapat diterima oleh baut adalah 167263,0272 N.

C. Perancangan Pipa

Pada perancangan pipa, ukuran desain perancangan pipa adalah menggunakan pipa dengan diameter luar pipa adalah 3/8" (17.10 mm) dan menggunakan material yang sama dengan material *channel* yaitu *stainless steel - grade 304*. Pemilihan material disesuaikan dengan *channel* karena memiliki kondisi yang sama. Rincian perancangan pipa dapat dilihat sebagai berikut.

$$\text{Diameter perancangan pipa} = \frac{3}{8} \text{'' } \emptyset = 17.10 \text{ mm}$$

$$\text{Tekanan perancangan} = 5 \text{ Bar} = 0.5 \text{ Mpa}$$

Perhitungan Ketebalan Ijin Pipa

Perhitungan ketebalan ijin pipa dilakukan untuk menentukan berapa tebal yang diijinkan pada perancangan berdasarkan diameter luar perancangan pipa dan tekanan perancangan pipa.

Diketahui:

$$P = 0,5 \text{ Mpa}$$

$$T = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 932 \text{ F}$$

$$E = 1,00 \text{ (Tabel A-3 ASME B31.1-2016) [4]}$$

$$y = 0,5 \text{ (Tabel 104.1.2 (A) ASME B31.1-2016) [4]}$$

$$A = 0.010 \text{ ''}$$

$$= 0.254 \text{ mm}$$

Dari Tabel A-3 ASME B31.1-2016 tegangan ijin maksimum (S) untuk temperature 932 F adalah[4]:

$$S = 10,6 \text{ kSi}$$

$$1 \text{ kSi} = 6.894 \text{ MPa}$$

$$S = 10,6 \text{ kSi}$$

$$= 10,6 \times 6.89475908677537$$

$$= 73.084 \text{ MPa}$$

Maka ketebalan ijin pipa untuk tekanan:

$$t_m = \frac{P \times D_o}{2(S \times E + P \times y)} + A \quad (6)$$

$$t_m = \frac{0,5 \text{ MPa} \times 17.15 \text{ mm}}{2(73.084 \text{ MPa} \times 1 + 0,5 \text{ MPa} \times 0,5)} + 0.254 \text{ mm}$$

$$t_m = 0.3124 \text{ mm}$$

Hasil dari perhitungan ketebalan minimum pipa yang diijinkan untuk material stainless steel 304 dengan tekanan perancangan 0,5 Mpa adalah sebesar 0.3124 mm. Total pipa yang ada pada

PLTUS berjumlah 8 potong pipa, dimana 5 pipa memiliki ulir pada kedua ujungnya dan 2 pipa hanya berulir pada salah satu sisinya saja. Ukuran pipa dapat dilihat pada tabel IV-8 dan IV-9, dimana tabel IV-8 merupakan pipa dengan ulir pada kedua ujungnya, dan tabel IV-9 adalah pipa dengan ulir hanya pada satu sisinya saja. Untuk gambar detailnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 3 Ukuran pipa dengan ulir 2 sisi

Panjang	Jumlah	Kedalaman Ulir
97,25 mm	2	15 mm
137,5 mm	1	15 mm
78,75 mm	1	15 mm
54.75 mm	1	15 mm
154.75 mm	1	15 mm

Tabel 4 Ukuran pipa dengan ulir 1 sisi

Panjang	Jumlah	Kedalaman Ulir
52.75 mm	1	15 mm
36.75 mm	1	15 mm

D. Analisis Sistem

Analisis sistem dilakukan dengan menggunakan software *Solidworks 2018 64 bit*, pada *notebook Lenovo Ideapad 310* dengan spesifikasi *processor Intel Core i5-7200U 2.7 GHz (4 CPU)*, kapasitas *memory 12288MB RAM*, dan *VGA card Nvidia GeForce 920MX 2010MB VRAM*. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar hasil temperatur keluaran yang dihasilkan oleh PLTUSL dengan data input sebagai berikut:

Air Masuk :

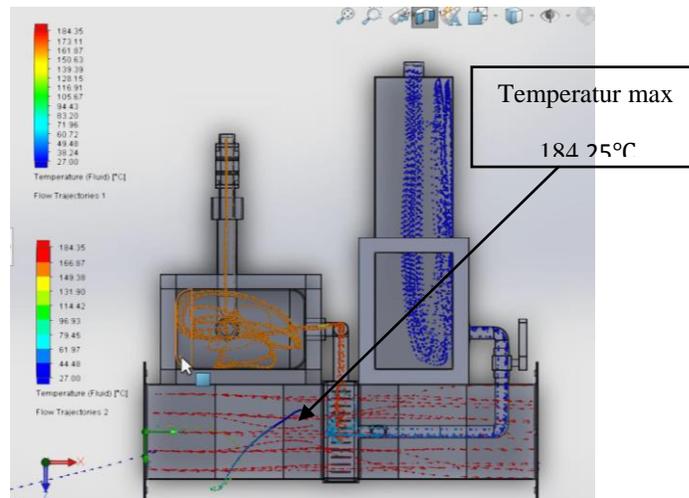
$$V = 2,616 \text{ m/s}$$

$$P = 3423,69 \text{ Pa}$$

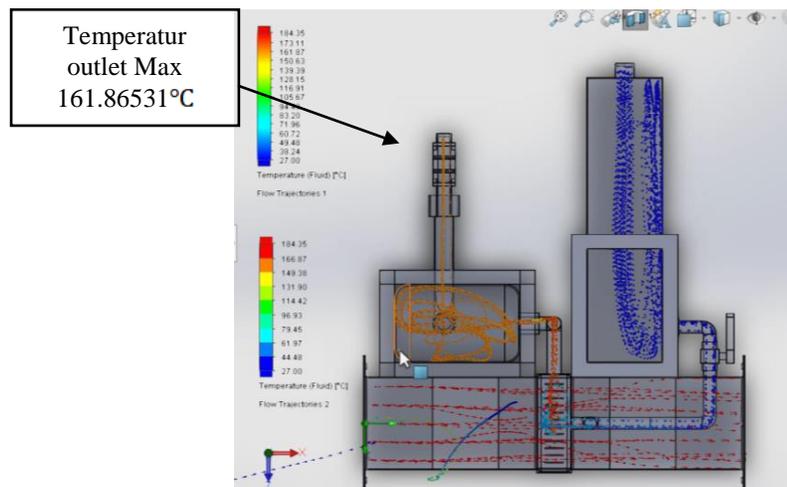
$$T = 33.3^\circ\text{C} \text{ (temperatur awal benda)}$$

Udara Hasil Pembakaran :

$$T = 520 \text{ (temperatur pembakaran maksimal yang pernah di uji coba sebelumnya)}$$



Gambar 6 Temperatur maksimum pada sistem



Gambar 7 Temperatur maksimum pada outlet

Hasil data yang didapatkan pada analisis sistem temperatur maksimum yang bisa di capai pada pada sistem adalah 184,25°C. Untuk temperatur keluaran (*output*) maksimal yang bisa di capai sistem 161.86531°C.

4. Kesimpulan

Dari perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Skala Laboratorium (PLTUSL) yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa.

1. Perancangan varian 2 merupakan varian terpilih hasil dari evaluasi pembobotan yang sudah dilakukan dengan nilai
2. Pembebanan pada sambungan baut dinyatakan aman sebab beban yang mampu di terima oleh baut adalah sebesar 167263,0272 N dan beban PLTUSL adalah sebesar 174,43161 N.
3. Data dari hasil analisis sistem yang telah dilakukan didapatkan bahwa temperatur keluaran uap yang paling tinggi adalah 161.86531°C.

Daftar Pustaka

1. Anton Budioko. Studi Pengolahan Sampah Organik Dengan Metode *Refuse Derived Fuel (RDF)* Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dengan Penambahan Kalsium Oksida (CaO). Yogyakarta. Universitas Gajah Mada, 2014.
2. Biyan Aqsha, Ir. Sarwoko M.Sc, Ekki Kurniawan S.T.M.Sc. Realisasi Pembangkit Listrik Mini Tenaga Sampah. Bandung, Universitas Telkom, 2015.
3. French, Michael J. *Conceptual Design For Engineer*. Springer. London. 1990.
4. ASME. ASME B31.1 Power Piping New York : Three Park Avenue, 201