

**DESAIN *STEAM POWER GENERATION* MENGGUNAKAN SISTEM
LONGITUDINAL WATER TUBE BOILER UNTUK MENGHASILKAN
DAYA LISTRIK KAPASITAS 1000 WATT**



Diusulkan sebagai persyaratan pelaksanaan kegiatan Tugas Akhir Pendidikan Sarjana Terapan (DIV) Pada Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknik Energi

OLEH:

**POPPI VAMELLA PUTRI
0613 4041 1657**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2017**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**DESAIN *STEAM POWER GENERATION* MENGGUNAKAN SISTEM
LONGITUDINAL WATER TUBE BOILER UNTUK MENGHASILKAN
DAYA LISTRIK KAPASITAS 1000 WATT**

OLEH:

**POPPI VAMELLA PUTRI
NIM. 061340411657**

Palembang, Juli 2017

**Menyetujui
Pembimbing I,**

Pembimbing II,

**Tahdid, S.T., M.T.
NIDN. 0013027203**

**Ir. Arizal Aswan, M.T.
NIDN. 0024045811**

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia**

**Adi Syakdani, S.T., M.T
NIP. 196904111992031001**

MOTTO

“Ilmu itu lebih baik daripada harta. Ilmu menjaga engkau dan engkau menjaga harta. Ilmu itu penghukum (hakim) dan harta terhukum. Harta itu kurang apabila dibelanjakan tapi ilmu bertambah bila dibelanjakan.”

(Saidina Ali Bin Abi Talib)

“Being yourself is one of the hardest things because it's scary. You always wonder whether you'll be accepted for who you really are. I decided to call my record 'Inside Out' because that's my motto about life. I don't think you ever succeed at trying to be anyone else but who you truly are.”

(Emmy Rossum)

“Families can be the most detrimental things to have in your life. They are sometimes the most poisonous relationships that people have. Sometimes family is the thing that keeps you from ever achieving what you want to achieve, and yet people hold it and hold it and grab it and try to fix it and twist it and turn it.”

(Amy Sherman-Palladino)

Sometimes I forget to thank the people who make my life happy in so many ways. Sometimes I forget to tell them how much I really do appreciate them for being an important part of my life.

So THANK YOU all of my family, just for being here for ME.

(POPPI VAMELLA PUTRI)

Kupersembahkan Untuk :

Allah SWT

Tn. Piter Fakhrurrozi Thiodoris & Ny. Karsimah

Kedua Dosen Pembimbing (Tahtid, S.T.,M.T & Ir. Arizal Aswan, M.T)

Dhiemas Aulia dan Keluarga

Kerabat & Sahabat

Almamater

ABSTRAK

DESAIN *STEAM POWER GENERATION* MENGGUNAKAN SISTEM *LONGITUDINAL WATER TUBE BOILER* UNTUK MENGHASILKAN DAYA LISTRIK KAPASITAS 1000 WATT

(Poppi Vamella Putri, 2017, 97 Halaman, 40 Tabel, 58 Gambar, 4 Lampiran)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Dalam prosesnya pada PLTU terdapat berbagai macam peralatan utama seperti *boiler*, *furnace*, turbin, kondensor, dan generator. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar. Energi panas ini kemudian dipindahkan dalam air yang ada dalam *boiler* untuk menghasilkan uap. Uap ini dialirkan ke turbin uap yang di dalamnya, energi (entalpi) uap dikonversikan menjadi energi mekanik penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap ini dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Pada desain pembangkit ini digunakan jenis boiler pipa air dengan *tube-tube* yang disusun pada kemiringan 45 derajat guna mempercepat proses perpindahan panas dan turbin uap sebagai komponen-komponen utama pada PLTU, maka penting untuk melakukan uji kinerja pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap baik secara desain dan aktual, serta mempelajari berbagai faktor dan variabel yang dapat mempengaruhi kinerja pembangkit dalam menghasilkan daya 1000 watt. Adapun parameter yang diamati meliputi bahan bakar, *flue gas*, temperatur dan tekanan *steam*, hingga rasio udara dan bahan bakar Berdasarkan parameter tersebut, prototipe PLTU yang dirancang memiliki rasio optimal pembakaran pada 16,5:1 dengan daya dibangkitkan sebesar 1018,29 watt serta efisiensi generator 97,54%, efisiensi turbin 74,80%, efisiensi *steam drum* 76,55%, dan efisiensi *furnace* 24,69%. dimana masih dapat ditingkatkan nilai efisiensinya dengan meminimalisir kebocoran kalor radiasi dan konveksi pada area permukaan *boiler*.

Kata Kunci: Efisiensi, Energi, Kinerja, Konversi, Uap

ABSTRACT

STEAM POWER GENERATION DESIGN USES THE LONGITUDINAL SYSTEM OF WATER TUBE BOILER TO PRODUCE 1000 WATT OF ELECTRICAL POWER CAPACITY

(Poppi Vamella Putri, 2017, 97 Pages, 40 Tables, 58 Pictures, 4 Attachments)

Steam Power Generation is an energy conversion machine that converts chemical energy in the fuel into electrical energy. In the process there are some main equipments in the Steam Power Generation such as boiler, furnace, turbine, condenser, and generator. The first level of energy conversion that in Steam Power Generation is the conversion of primary energy into heat energy (heat). This is done in the combustion chamber. This heat energy is then transferred to the water in the boiler to produce steam. This steam is flowed to a steam turbine in which the energy of the steam (enthalpy) is converted into a mechanical energy of the generator, and finally a mechanical energy of this steam turbine is converted into electrical energy by the generator. Design of this plant used a type of water tube boiler with tubes arranged at 45 degrees slope is used to accelerate the process of heat transfer and steam turbine as the main components in the steam power generation, it is important to conduct performance tests on Steam Power Generation both in design and actual, as well as studying the various factors and variables that can affect the performance of generators in producing 1000 watts of power. The parameters observed is including fuel, flue gas, steam temperature and pressure, and air fuel ratio. Based on these parameters, the designed prototype Steam Power Generation has an optimal ratio of combustion of 16.5: 1 with 1018.29 watt generated power and efficiency Generator 97,54%, turbine efficiency 74,80%, efficiency steam drum 76,55%, and efficiency of furnace 24,69%. The Efficiency can still be improved by minimizing radiation heat leakage and convection on the surface area of the boiler.

Keywords: Efficiency, Energy, Performance, Conversion, Steam

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah Subhana wa Ta'ala, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan sesuai rencana. Shalawat dan salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad Shalallahu 'Alaihi Wassalam beserta para keluarga dan sahabatnya hingga akhir zaman.

Penulis menyusun laporan ini berdasarkan hasil pengamatan dan data-data yang diperoleh saat melakukan Rancang Bangun dan Penelitian di Laboratorium Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya. Dalam melaksanakan Penelitian Tugas Akhir ini penulis telah banyak menerima bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Dr. Dipl. Ing. Ahmad Taqwa, M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Ir. Irawan Rusnadi, M.T., selaku Pembantu Direktur 3 Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Adi Syakdani, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Ahmad Zikri, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Ir. Arizal Aswan, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya serta Dosen Pembimbing II Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya.
6. Tahdid, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya.
7. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang.
8. Kedua orang tua yang tak henti-hentinya mendoakan dan memberi dukungan moral dan materi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

9. Dhiemas Aulia yang telah membantu dan selalu menyemangati dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
10. Tim *Steam Power Generation* yang telah bersama-sama saling membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Energi 2013

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam menulis Tugas Akhir ini, meskipun begitu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat mendukung dari pembaca, guna menyempurnakan apa yang telah penulis buat. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua, terutama Bapak/Ibu Dosen jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya, serta rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Prodi S1 Terapan Teknik Energi.

Palembang, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
MOTTO	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	5
1.2 Perumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)	7
2.1.1 Komponen Peralatan Sistem Tenaga Uap	5
2.1.1.1 Boiler	5
2.1.1.2 Turbin uap	21
2.1.1.3 Kondensor	22
2.1.1.4 Ekonomiser.....	23
2.1.1.5 Generator	24
2.1.2 Siklus Fluida Kerja pada PLTU	25
2.1.3 Diagram Siklus Termodinamika pada PLTU	25
2.2 Air	26
2.3 Udara.....	27
2.4 <i>Steam</i>	27
2.4.1 Perubahan Fase pada Zat Murni	29
2.4.2 Cair Tekan (<i>Compressed Liquid</i>)	29
2.4.3 Cair Jenuh (<i>Saturated Liquid</i>)	30
2.4.4 Campuran Air-Uap (<i>Liquid Vapor Mixture</i>)	30
2.4.5 Uap Jenuh (<i>Saturated Vapor</i>).....	31
2.4.6 Uap Panas Lanjut (<i>Superheated Vapor</i>).....	31
2.5 Teknik Pembakaran Bahan Bakar	32
2.5.1 Faktor Utama Proses Pembakaran	32
2.5.2 Profil Pembakaran	34
2.5.3 Kebutuhan Udara Teoritis	35
2.5.4 Konsep Udara Berlebih	36
2.6 Ruang Bakar	37

2.6.1	Bagian-Bagian Ruang Bakar	38
2.6.2	Tipe-Tipe Ruang Bakar	39
2.6.3	Faktor yang mempengaruhi proses operasi <i>furnace</i>	43
2.6.3.1	Draft.....	43
2.6.3.2	Operasi Burner	44
2.6.3.3	Produksi NOx	45
2.6.3.4	Efisiensi pencampuran udara dan Bahan bakar	45
2.6.3.5	Mengoptimalkan udara <i>excess</i>	46
2.7	Bahan Bakar.....	26
2.7.1	Solar	47
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		49
3.1	Pendekatan Desain Fungsional	49
3.2	Pendekatan Desain Struktural	50
3.3	Pertimbangan Percobaan	53
3.3.1	Waktu dan Tempat	53
3.3.2	Alat dan Bahan	53
3.3.3	Perlakuan dan Rancangan Percobaan	55
3.4	Pengamatan	56
3.5	Prosedur Percobaan	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		60
4.1	Hasil Penelitian	60
4.1.1	Tabulasi Hasil Perhitungan Neraca Massa Boiler-Furnace.....	60
4.1.2	Tabulasi Hasil Perhitungan Neraca Energi Boiler-Furnace.....	62
4.1.3	Tabulasi Kinerja <i>Steam Power Generation</i>	63
4.2	Pembahasan	65
4.2.1	Hasil Kinerja <i>Steam Power Generation</i> Desain dan Aktual	65
4.2.2	Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Kenaikan Temperatur Steam (Tss).....	66
4.2.3	Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar terhadap Tekanan <i>Superheated Steam</i>	68
4.2.4	Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar terhadap Efisiensi Ruang Bakar	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN		79

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
1.	Keuntungan dan Kerugian Boiler Berdasarkan Tipe Pipa	11
2.	Sifat Fisika dan Kimia Air	26
3.	Sifat-Sifat Udara	27
4.	Kondisi Gas Ideal.....	36
5.	Penggunaan Udara Excess	39
6.	Spesifikasi Solar.....	48
7.	Neraca Massa Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 15:1	60
8.	Neraca Massa Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 15,5:1	60
9.	Neraca Massa Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 16:1	60
10.	Neraca Massa Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 16,5:1	61
11.	Neraca Massa Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 17:1	61
12.	Neraca Energi Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 15:1.....	62
13.	Neraca Energi Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 15,5:1.....	63
14.	Neraca Energi Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 16:1.....	63
15.	Neraca Energi Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 16,5:1.....	63
16.	Neraca Energi Seputar <i>Boiler Furnace</i> Rasio 17:1.....	63
17.	Tabulasi data aktual hasil penelitian dan hasil desain pada Rasio 15 :1	64
18.	Tabulasi data aktual hasil penelitian dan hasil desain pada Rasio 15,5 :1	64
19.	Tabulasi data aktual hasil penelitian dan hasil desain pada Rasio 16 :1	64
20.	Tabulasi data aktual hasil penelitian dan hasil desain pada Rasio 16,5 :1	65
21.	Tabulasi data aktual hasil penelitian dan hasil desain pada Rasio 17 :1	65
22.	Spesifikasi Ruang Bakar	76
23.	Spesifikasi <i>Longitudinal Water Tube Boiler</i>	76
24.	Spesifikasi Turbin	76
25.	Spesifikasi <i>Oil Tank</i>	76
26.	Spesifikasi Generator	77
27.	Spesifikasi Kondensor	77
28.	Spesifikasi Kompresor	77
29.	Spesifikasi Pompa	78
30.	Data Komposisi Bahan Bakar Solar	82
31.	Data Waktu Pemanasan untuk Start Up Rasio 17:1.....	83
32.	Data Waktu Pemanasan untuk Start Up Rasio 16,5:1.....	83
33.	Data Waktu Pemanasan untuk Start Up Rasio 16:1.....	83
34.	Data Waktu Pemanasan untuk Start Up Rasio 15,5:1.....	84

35. Data Waktu Pemanasan untuk Start Up Rasio 15:1.....	84
36. Data Kondisi <i>Steady State</i> Rasio 17:1	85
37. Data Kondisi <i>Steady State</i> Rasio 16,5:1	86
38. Data Kondisi <i>Steady State</i> Rasio 16:1	87
39. Data Kondisi <i>Steady State</i> Rasio 15,5:1	88
40. Data Kondisi <i>Steady State</i> Rasio 15:1	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Penyediaan Kapasitas Tenaga Listrik di Indonesia Tahun 2011-2015.	1
2. Grafik Kapasitas Terpasang Pembangkit Tenaga Listrik Nasional Menurut Jenis Pembangkit Tahun 2015	2
3. Biaya Bahan Bakar PLTU Berbahan Bakar Minyak	3
4. Proses Konversi Energi pada PLTU	5
5. Fire Tuber Boiler	9
6. Water Tuber Boiler	10
7. Sistem Neraca Massa dan Panas	14
8. Rugi-Rugi pada Boiler	15
9. Bentuk sudu-sudu turbin uap	22
10. Penampang Kondensor.....	23
11. Penampang Ekonomiser.....	24
12. Siklus Fluida Kerja Sederhana pada PLTU	25
13. Diagram T-S Siklus PLTU	25
14. Grafik Perubahan Fasa Air	28
15. Proses Terbentuknya Steam	29
16. Air pada Fase Cair Tekan (<i>Compressed Liquid</i>)	29
17. Air pada Fase Cair Jenuh(<i>Saturated Liquid</i>)	30
18. Campuran Air dan Uap	30
19. Uap Jenuh (<i>Saturated Vapor</i>).....	31
20. Uap Panas Lanjut (<i>Superheated Vapor</i>).....	31
21. Diagram T-S Pemanasan Air pada Tekanan Konstan	32
22. Profil Pembakaran Bahan Bakar	34
23. Grafik Hubungan Efisiensi Pembakaran dengan Udara Berlebih	37
24. Furnace Tipe Box	39
25. Furnace Tipe Cabin	41
26. Furnace Tipe Silinder Vertikal.....	42
27. <i>Premix Burner</i> dan Produk Pembakaran	45
28. Skematik <i>Premix Burner</i>	46
29. Desain <i>Tube</i> pada <i>Furnace</i>	51
30. Rancangan Prototipe <i>Steam Power Generation</i> menggunakan sistem <i>Longitudinal Water Tube Boiler</i>	51
31. <i>Steam Power Generation</i> Tampak Depan.....	52
32. <i>Steam Power Generation</i> Tampak Samping.....	52
33. <i>Steam Power Generation</i> Tampak Belakang	53
34. Flow diagram Sistem PLTU	56

35. Grafik hubungan tekanan <i>superheated steam</i> pada kondisi <i>steady state</i> dengan rasio udara bahan bakar solar.....	67
36. Grafik hubungan tekanan <i>superheated steam</i> pada kondisi <i>steady state</i> dengan rasio udara ^{xiii} bakar solar.....	69
37. Grafik hubungan efisiensi ruang ^{xiii} udara pada kondisi <i>steady state</i> dengan rasio udara bahan bakar solar.....	71
38. Blok Diagram Neraca Massa <i>Boiler-Furnace</i>	73
39. Steam Drum	94
40. Longitudinal Tubesheet.....	94
41. Tubesheet Superheater	94
42. Furnace	94
43. Kompresor	95
44. Tangki Bahan Bakar.....	95
45. Sudu Turbin.....	95
46. Kondensor	95
47. Pompa.....	95
48. Level <i>Volume</i>	95
49. Kontrol Panel	96
50. Generator.....	96
51. <i>Burner</i>	96
52. <i>Open Pulley Sistem</i>	96
53. Temperatur <i>Gauge</i>	96
54. <i>Pressure Gauge</i>	96
55. <i>Flowmeter</i>	97
56. <i>Water Tank</i>	97
57. <i>Tubesheet Economizer</i>	97
58. Prototipe <i>Steam Power Generation</i> Keseluruhan	97

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
I. Spesifikasi Alat.....	79
II. Data Pengamatan	82
III. Dokumentasi Kegiatan	91
IV. Gambar Alat	94