



Desain Awal Pembangkit Listrik Menggunakan Bahan Bakar Sampah Kota Cilegon Dengan Kapasitas 2 MW

Imron Rosyadi^{1*}, Yusvardi Yusuf¹, Dhimas Satria¹, Haryadi¹, Aswata¹, Remmo Ardian¹

¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten, Indonesia
*Email: imron_hrs@yahoo.co.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 17/05/2018
Naskah Direvisi 21/05/2018
Naskah Disetujui 21/05/2018
Naskah Online 21/05/2018

ABSTRAK

Produksi sampah terus meningkat sedangkan lahan tempat pembuangan akhir memiliki batas kapasitas tertentu. Masalah sampah di beberapa kota besar mulai muncul karena pengolahan secara konvensional dan manajemen yang buruk. Untuk itu perlu diterapkan teknologi untuk memusnahkan sampah secara efisien, efektif, dan berkesinambungan. Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) merupakan salah satu opsi untuk menangani hal tersebut. Pada perencanaan PLTSa ini akan menggunakan siklus uap sederhana dengan extraction steam setelah melewati turbin. daya yang direncanakan yaitu sebesar 2 MW berdasarkan asumsi dari data statistik sampah kota Cilegon. Untuk mengetahui efisiensi dari sistem pembangkit pada perencanaan ini menggunakan software cycle tempo. Sedangkan untuk perancangan ruang pembakaran menggunakan software firecad. Ruang pembakaran untuk PLTSa dirancang agar tidak menghasilkan zat-zat yang berbahaya bagi lingkungan. Untuk mencapai hal tersebut diperlukan komposisi sampah yang sesuai. Berdasarkan analisa, sampah yang layak dijadikan untuk bahan bakar PLTSa memiliki moisture minimal sebesar 50%.

Kata kunci: PLTSa, cycle tempo, firecad

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi, produksi sampah dunia semakin meningkat. Peningkatan taraf hidup masyarakat dan pertumbuhan jumlah penduduk sebanding dengan peningkatan volume sampah yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi pula pada setiap negara berkembang di dunia seperti Indonesia. Pengolahan sampah di Indonesia masih mengandalkan open dumping atau pembuangan sampah di atas lahan terbuka tanpa ada manajemen pengolahan sampah yang baik. Pengolahan sampah secara konvensional tersebut lambat laun akan mencapai batas maksimal seiring dengan peningkatan produksi sampah Negara Indonesia dapat mengaplikasikan keberhasilan negara maju dalam mengolah sampah.

Indonesia dapat melakukan pengolahan sampah menjadi energi. Pembangunan PLTSa merupakan salah satu alternatif penanggulangan masalah sampah. Perencanaan PLTSa ini akan memanfaatkan sampah dari TPA yang ada di Cilegon.

Ada beberapa pertimbangan untuk memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga sampah(PLTSa). Karakteristik sampah menjadi salah satu faktor utama dalam menentukan metode pengolahan sampah di samping penentuan teknologi untuk mengolah sampah menjadi energi. Karakteristik sampah dapat mempengaruhi konfigurasi sistem pembangkit listrik dan parameter pembakaran sampah. Perbedaan yang tidak terlalu jauh antara kondisi operasi desain dengan kondisi operasi sebenarnya merupakan harapan utama dari analisis perancangan PLTSa berdasarkan karakteristik sampah.

tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi daya listrik yang dapat dihasilkan dari sampah kota Cilegon, menganalisis desain sederhana pembangkit listrik, menganalisis sistem pemanfaatan gas buang, dan menganalisis proses pembakaran dalam tungku pembakaran. Hasil penelitian karakteristik sampah kota Cilegon ini selanjutnya akan berguna untuk memprediksi perlakuan sampah sebelum di bakar,

beberapa parameter operasi, perlakuan gas buang, dan analisis desain komponen sederhana pada sistem PLTSa.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Siklus PLTSa 2 MW

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, pada dasarnya pembangkit listrik tenaga sampah menggunakan siklus yang sama dengan pembangkit listrik tenaga uap. Yang membedakan yaitu terletak pada ruang pembakarannya yang di desain khusus untuk membakar sampah yang terpilih dengan sempurna dan dapat meminimalisir gas buang yang dihasilkan dari pembakaran sampah. Untuk itu diperlukan beberapa proses penyaringan di dalam ruang pembakaran tersebut. Namun penelitian penulis disini hanya mencakup perencanaan awal dari siklus yang akan digunakan pembangkit listrik tenaga sampah. Penulis menganalisa beberapa jenis siklus untuk mendapatkan siklus yang terbaik untuk diterapkan sebagai pembangkit listrik tenaga sampah.

Analisa dilakukan dengan melakukan pemodelan siklus menggunakan software cycle tempo 5.0. input parameter yang diberikan pada software cycle tempo yaitu berupa masukkan spesifikasi turbin uap yang dipilih untuk merancang PLTSa sesuai dengan kapasitas yang yang direncanakan. Pada proses simulasi software ada beberapa input yang didapat dari asumsi untuk bisa disesuaikan dengan spesifikasi turbin.

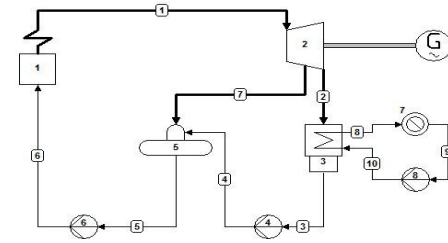
Turbin yang digunakan dalam perancangan ini yaitu turbin tuthill nadrowski 2 MW. Spesifikasi dari turbin tersebut yaitu:

Spesifikasi	Besar
Model	TurbineType B 7
Rated output	S-6 +GVs
Inlet steam	2000 KW
Outlet steam	13 tonnes/hr, 26 bar, 350°C
pressure	0.18 bar

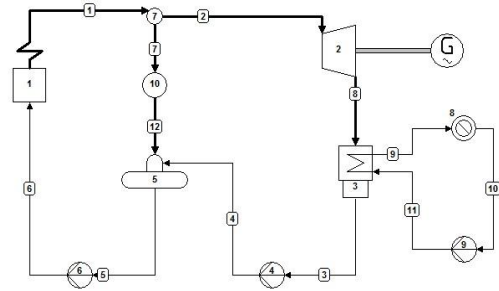
2.2. Pemodelan siklus dengan cycle tempo 5.0

PLTSa yang direncanakan 2 MW berdasarkan dari hasil observasi di dinas kebersihan kota Cilegon. Dimana dari hasil statistik sampah yang didapat di kalkulasi dengan cara membandingkan kemampuan dan kapasitas sampah yang telah ada di PLTSa bandung. Dalam memodelkan siklus PLTSa digunakan berbagai model apparatus yang tersedia dalam software cycle tempo. Model siklus yang akan dibuat disesuaikan dengan skema pembangkit listrik tenaga uap sederhana.

Berikut adalah siklus yang akan di rencanakan untuk PLTSa dimana dari siklus-siklus di bawah ini akan dipilih yang terbaik dilihat dari efisiensi dan efektifitas tenaga yang dihasilkannya :



Gambar 1. Siklus dengan extraction steam setelah turbin

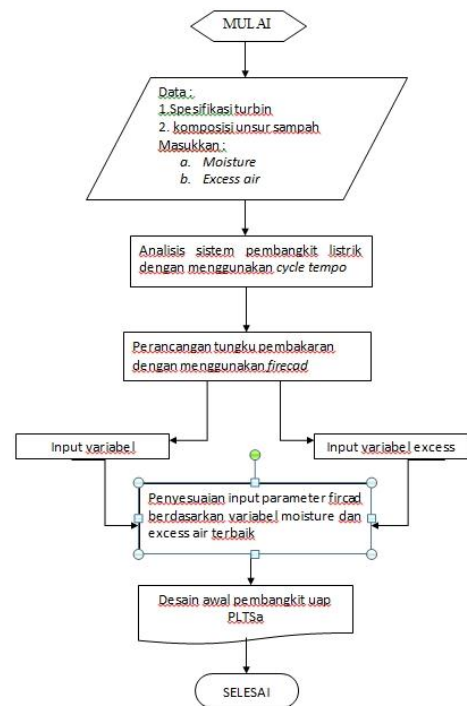


Gambar 2. Siklus dengan extraction steam sebelum turbin

2.3. Perancangan ruang pembakaran PLTSa

Untuk mengetahui kondisi operasi yang paling baik dari tungku pembakaran sampah, maka akan di masukkan beberapa variabel pada input parameter dari moisture sampah dan juga excess air untuk dilihat pengaruhnya terhadap temperatur output dari boiler. Nilai dari variabel input moisture bahan bakar sampah di dapat dari hasil perhitungan dan analisis teman saya.

2.4. Diagram alir perencanaan PLTSa



Gambar 3. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis pembangkit listrik dengan menggunakan software Cycle Tempo

Program cycle tempo akan membantu memprediksi secara singkat beberapa parameter operasi penting pada pembangkit listrik. Hasil pendekatan simulasi pembangkit listrik sederhana dengan kapasitas 2 MW dapat dilihat pada gambar hasil simulasi di bawah. Kondisi operasi setiap tingkat pada cycle tepo sedikit berbeda dengan kondisi operasi yang diharapkan. Beberapa simulasi dilakukan untuk mendapatkan efisiensi paling tinggi untuk kondisi operasi PLTSa.

Simulasi pembangkit listrik dilakukan dengan pendekatan kondisi turbin menghasilkan efisiensi isentropis turbin sebesar 80%. Simulasi ini menggunakan asumsi efisiensi boiler sebesar 50%, efisiensi penukar panas sebesar 100%, efisiensi mekanis generator sebesar 90%, efisiensi mekanis pompa sebesar 90%, dan efisiensi isentropis pompa sebesar 75%.

A. Simulasi siklus dengan extraction steam setelah turbin

Input parameter dari apparatus cycle tempo :

- Turbin : efisiensi isentropic (ETHAI) = 0.8
- Boiler : efisiensi boiler (ETHAIB) = 75%
Tekanan output (PUOT) = 26 bar
Temperature output (TOUT) = 350°C
- Condenser : tekanan outlet kondensat (POUT2) = 0,027 bar
Pressure drop steam side (DELP2) = 0 bar
Pressure drop cooling water (DELP1) = 1 Bar
Temperature rise cooling water (DELTA1) = 5°C
- Pompa 4 : efisiensi isentropik (ETHAI) = 75%
Efisiensi mekanik (ETHAM) = 90%
- Deaerator : tekanan outlet (POUT) = 3 bar
Drop pressure (DELP) = 0 bar
- Pompa 6 : tekanan outlet (POUT) = 80 bar
Efisiensi isentropik (ETHAI) = 75%
Efisiensi mekanik (ETHAM) = 90%
- Cooling tower 7 : outlet temperature cooling water (TOUT) = 15°C
Outlet pressure cooling water (POUT) = 1 bar
- Pompa 8 : tekanan outlet (POUT) = 4 bar
Efisiensi isentropik (ETHAI) = 75%
Efisiensi mekanik (ETHAM) = 90%

Hasil simulasi:

Tabel 1. Tranfer energi setiap komponen siklus pembangkit dengan extraction steam setelah turbin

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	9953.73	9953.73
Delivered gross power	1	Generator	G	2000.00	2000.00
Aux. power consumption	4	Pump	8	1.12	
	6	Pump	8	38.12	
	8	Pump	8	118.04	
					157.29
Delivered net power					1842.71
Delivered heat	7	Heat Sink	10	5635.42	5635.42
Total delivered					7478.12
Efficiencies gross				20.093 %	
net				18.513 %	
heat				56.616 %	
total				75.129 %	

B. Simulasi siklus dengan extraction steam sebelum turbin

Input parameter dari apparatus cycle tempo:

- Turbin : efisiensi isentropic (ETHAI) = 0.8
- Boiler : efisiensi boiler (ETHAIB) = 75%
Tekanan output (PUOT) = 26 bar
Temperature output (TOUT) = 350°C
- Condenser : tekanan outlet kondensat (POUT2) = 0,027 bar
Pressure drop steam side (DELP2) = 0 bar
Pressure drop cooling water (DELP1) = 1 Bar
Temperature rise cooling water (DELTA1) = 5°C
- Pompa 4 : efisiensi isentropik (ETHAI) = 75%
Efisiensi mekanik (ETHAM) = 90%
- Deaerator : outlet pressure (POUT) = 3 bar
- Drop pressure (DELP) = 0 bar
- Pompa 6 : outlet pressure (POUT) = 80 bar
Efisiensi isentropik (ETHAI) = 75%
Efisiensi mekanik (ETHAM) = 90%
- Separator 7 : drop pressure (DELP) = 0 bar
- Cooling tower 8 : outlet temperature cooling water (TOUT) = 15°C
Outlet pressure cooling water (POUT) = 1 bar
- Pompa 9 : tekanan outlet (POUT) = 4 bar
Efisiensi isentropik (ETHAI) = 75%
Efisiensi mekanik (ETHAM) = 90%
- Sink/source 10 : outlet pressure (POUT) = 1 bar

Hasil simulasi :

Tabel 2. Tranfer energi setiap komponen siklus pembangkit dengan extraction steam sebelum turbin

	No.	Apparatus	Type	Energy [kW]	Totals [kW]
Absorbed power	1	Boiler	1	10411.95	10411.95
Delivered gross power	1	Generator	G	2000.00	2000.00
Aux. power consumption	4	Pump	8	1.22	
	6	Pump	8	39.88	
	9	Pump	8	126.76	
Delivered net power					167.86
Delivered heat	8	Heat Sink	10	6051.51	6051.51
Total delivered					7883.65
Efficiencies	gross			19.209 %	
	net			17.596 %	
	heat			58.121 %	
	total			75.717 %	

Dari dua jenis siklus yang telah di simulasikan, dapat kita bandingkan mana yang lebih efisien. Dilihat dari tabel transfer energi kita dapat membandingkan net power yang dihasilkan dari kedua siklus. Di mana siklus dengan extraction steam setelah turbin menghasilkan net power sebesar 1842,71 Kw dan siklus dengan extraction steam sebelum turbin menghasilkan net power sebesar 1832,14 kW. Sehingga kita dapat tentukan bahwa siklus dengan extraction steam setelah turbin lebih efisien dibandingkan extraction steam sebelum turbin.

3.2. Perancangan tungku pembakaran menggunakan firecad

Untuk menemukan kondisi operasi terbaik dari tungku pembakaran sampah maka nilai input parameter dari moisture dan excess air dijadikan variabel sebagai pembanding terhadap temperatur output dari boiler bank. Dengan menggunakan asumsi FGR tetap sebesar 20%.

3.2.1. Analisis sensitivitas parameter desain pada program firecad

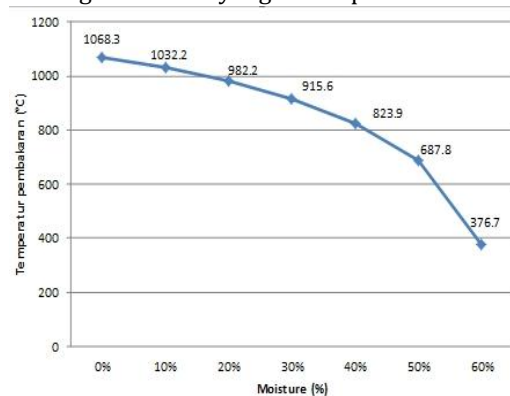
Analisis sensitivitas ini untuk mengetahui tingkat perubahan parameter operasi tungku pembakaran dan boiler bila beberapa nilai parameter masukan berubah secara bertahap analisis ini untuk menentukan parameter masukan yang tepat sehingga menghasilkan parameter operasi yang sesuai.

Temperatur pembakaran sampah pada tungku pembakaran sebaiknya berada pada temperature antara 900°C-1200°C. simulasi tungku pembakaran dan boiler pada program firecad menggunakan beberapa parameter yang sama dengan sistem pembangkit uap seperti input bahan bakar, temperatur kerja, kapasitas, dan jenis penukar panas. Tabel 3 merupakan beberapa parameter awal untuk memulai simulasi boiler menggunakan firecad.

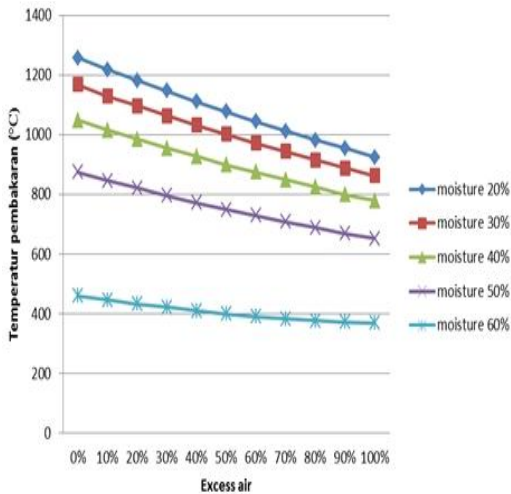
Tabel 3. Input parameter pada simulasi program firecad

Parameter	Nilai	Satuan
Kapasitas uap	13000	Kg/jam
Tekanan uap	26	Bar
Temperatur uap	350	°C
Temperatur air masuk	134,90	°C
	157,35	°C
Temperatur akhir boiler	30	°C
	3	%
Temperatur lingkungan	20	%
Blowdown	Variabel	%
Flue gas recirculation	0,0215	Kg air/kg udara
Excess air		
Kandungan air dalam udara		
Heat recovery	Tidak ada	
Jenis grate	Travelling	
Jenis tungku pembakaran	Nose	
Jenis dinding tungku	No tube	
Jenis superheater	Single stage, counter flow	
	Water tube	
	Cross flow	
Jenis boiler	Sampah kota cilegon moisture variabel	
Jenis aliran boiler		
Jenis bahan bakar		

Hasil simulasi menunjukkan sensitivitas beberapa temperatur pada tungku pembakaran, boiler, dan kebutuhan bahan bakara sampah pada berbagai kandungan moisture dan excess air. Setiap mengubah data input parameter maka diameter pada tungku, superheater, dan boiler bank akan kembali mengalami penyesuaian sehingga menghasilkan temperatur kerja sesuai dengan kondisi yang diharapkan.



Gambar 4. Grafik pengaruh kandungan moisture pada sampah terhadap prediksi temperatur pembakaran dengan excess air sebesar 80% pada firecad



Gambar 5. Grafik pengaruh excess air terhadap temperatur pembakaran pada berbagai moisture menggunakan firecad

3.2.2. Hasil perancangan ruang pembakaran PLTSa Cilegon menggunakan Firecad

Berdasarkan pengujian sensitivitas dari variabel parameter moisture dan excess air pada program firecad, perancangan boiler sebaiknya menggunakan bahan bakar dengan moisture tidak lebih dari 50% dan excess air sebesar 80%. Besaran moisture dari bahan bakar yang dipakai disesuaikan dengan kondisi sampel sampah yang diuji proximate dan ultimate yaitu sebesar 40%.

Tabel 4. Hasil perancangan kondisi operasi

Parameter	Besaran	Parameter	Besaran
Kapasitas uap	13000 kg/jam	Total draft loss	24,29 mm of WC
Tekanan uap	26 bar	Heating surface	450,74 m ²
Excess air	80%	Total losses	54,23%
FGR	20%	Radiation losses	0,4%
Efisiensi boiler	58,29%	Gas mass flow	46885,16 kg/jam
Bahan bakar sampah	10378,1 kg/jam	FGR flow	9397,03 kg/jam
LHV sampah	5527,86 kJ/kg	Unit wet gas	4,59 kg/kg BB
Kapasitas termal	9,288 MWatt	Unit wet air	3,79 kg/kg BB

Dimensi ruang bakar hasil iterasi firecad

Parameter	Firecad	Satuan
Beban Termal	9288	kW
Laju bahan bakar	10378,1	kg/jam
Laju massa gas	46885,16	kg/jam
Lebar (Width)	2,6	m
Panjang (Depth)	8	m
Tinggi	11	m
Waktu tinggal gas dalam tungku	1,05	detik
Temperatur gas keluar tungku	823,89	°C

Dimensi superheater hasil iterasi firecad

PARAMETER	BESAR	SATUAN
Diameter pipa	50,8	mm
Tebal pipa	4	mm
Panjang pipa	5452,5	mm
Jarak transversal	154	mm
Jarak longitudinal	154	mm
Jumlah laluan pipa	9	-
Jumlah pipa tiap baris	8	-
Beban termal	1834	kW
Luas bidang perpindahan panas	62,6	m ²
Tuap keluar	430	°C
Tgas keluar	756,1	°C
Overall heat transfer coefficient (U)	48,9	Watt/m ²

Dimensi Boiler bank hasil iterasi firecad

PARAMETER	BESAR	SATUAN
Diameter pipa	50,80	mm
Tebal pipa	3,66	mm
Panjang pipa	4608,24	mm
Jarak Transversal	105	mm
Jarak Longitudinal	100	mm
Jumlah pipa	24	-
Jumlah laluan	22	-
Tuap keluar	199,18	°C
Tgas keluar	233,1	°C
Overall heat transfer coefficient	54,68	Watt/m ²

Berdasarkan hasil analisis dari pengujian menggunakan firecad, Temperatur masuk dan keluar gas dari boiler berada pada rentang 756,1°C – 411,8°C sehingga senyawa NOx tidak akan terbentuk. Begitupun temperatur keluar gas dari furnace berada pada suhu 823,9°C dengan waktu pembuangan gas sisa/residual time selama 1,05 detik maka dapat mengurai dioksin

menjadi zat yang tidak berbahaya. Oleh karena itu, bisa dikatakan bahwa spesifikasi tungku pembakaran dari hasil rancangan firecad berdasarkan input bahan bakar sampah kota cilegon dengan moisture 40% layak digunakan karena berada dalam batas aman untuk tidak mencemari lingkungan dari sisa pembakaran yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi software untuk perancangan PLTSa kota cilegon maka dapat didimpulkan bahwa :

Siklus PLTU dengan extraction steam setelah turbin menghasilkan efisiensi yang lebih baik di dibandingkan dengan siklus PLTU dengan extraction steam sebelum turbin. hal ini dapat dilihat dari hasil iterasi menggunakan software cycle tempo, dimana siklus dengan extraction steam setelah turbin menghasilkan net power sebesar 1842,71 kW dan siklus dengan extraction steam sebelum turbin sebesar 1832,14 kW dari 2000kW yang direncanakan.

Kandungan air/moisture dari bahan bakar sampah mempengaruhi proses pembakaran di dalam tungku pembakaran dan juga banyaknya kebutuhan bahan bakar. Semakin besar moisture dari sampah yang akan di bakar maka temperatur pembakaran semakin kecil dimana secara langsung berimbas kepada kebutuhan bahan bakar yang semakin meningkat untuk dapat menaikkan suhu pembakaran rendah yang dihasilkan dari bahan bakar sampah dengan moisture yang tinggi.

Bahan bakar sampah untuk PLTSa kota cilegon berdasarkan data sampah dinas kebersihan kota cilegon sebaiknya memiliki batasan maksimal kandungan air/moisture sebesar 40% agar berada pada temperatur pembakaran dengan emisi gas buang yang aman bagi lingkungan.

Kebutuhan sampah untuk PLTSa kota cilegon berdasarkan estimasi awal dari data statistik sampah kota cilegon yaitu 14000 kg/jam pada efisiensi boiler sebesar 75%, sedangkan kebutuhan sampah berdasarkan simulasi menggunakan program firecad yaitu sebesar 10378,1 kg/jam pada efisiensi boiler sebesar 58,29%.

Dari hasil perancangan tungku pembakaran menggunakan firecad, Temperatur masuk dan keluar gas dari boiler berada pada rentang 411,8°C - 756,1°C sehingga senyawa NOx tidak akan terbentuk. Begitupun temperatur keluar gas dari furnace berada pada suhu 823,9°C dengan waktu pembuangan gas sisa/residual time selama 1,05 detik maka dapat mengurai dioksin menjadi zat yang tidak berbahaya. Oleh karena itu, bisa dikatakan bahwa spesifikasi tungku pembakaran dari hasil rancangan firecad berdasarkan input bahan bakar sampah kota cilegon dengan moisture 40% layak digunakan karena berada dalam batas aman untuk tidak mencemari lingkungan dari sisa pembakaran yang dihasilkan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Moran, michael J. dan Saphiro, Howard N., Fundamentals of Engineering thermodynamics. 5th edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 2004.
- Prakarsa, Yanda. Analisis Karakteristik Pembakaran Sampah Kota Bandung untuk PLTSa Babakan. Bandung: ITB. 2008.
- Kadir, Abdul. Prof. Ir. Energi (sumber daya, inovasi, tenaga listrik dan potensi ekonomi edisi ke dua). Jakarta : Universitas Indonesia.
- Culp, Archie W, Jr., Ph.D. Prinsip-prinsip Konversi Energi. Jakarta : Erlangga. 1989.
- The World Bank. Municipal Solid Waste Incineration. Washington, D.C. 1999.
- Niessen, Walter R. Combustion and incineration Processes 3rd. Marcel Dekker Inc : New York. 2002.
- Kreith, Frank dan goswami, D. Yogi, energy conversion, CRC Press Taylor & Francis Group, LLC., New York, 2007.