

# PERENCANAAN SISTEM WASTE HEAT RECOVERY POWER GENERATION (WHRPG) PABRIK SEMEN

**DAENY SEPTI YANSURI**

(*sdaeny@yahoo.com*)

*Dosen Tetap Yayasan pada Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Palembang*

## ABSTRAK

Pembangunan pembangkit *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) merupakan salah satu terobosan dalam meningkatkan efisiensi dalam penggunaan energi listrik di industri semen. Industri semen membutuhkan jumlah energi yang besar untuk berproduksi. Hampir sekitar 50% biaya produksi berasal dari pembelian energi yang terdiri dari 75% dalam bentuk panas dan 25% dalam bentuk listrik.

Pembangunan Pembangkit *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) 8,5 MW di PT.Semen Baturaja Pabrik Baturaja Kabupaten Ogan Komering Ulu – Sumatera Selatan dijadikan sebagai unit *clinker production*. Pembangunan WHRPG ditujukan untuk memenuhi pasokan energi listrik dan menjadikan listrik sebagai pemacu upaya efisiensi operasional dan menekan emisi gas buang sehingga lebih ramah lingkungan.

WHRPG memanfaatkan gas buang sisa produksi semen. Pengoperasian WHRPG memungkinkan perseroan berpotensi dapat menghemat biaya listrik lebih dari Rp 120 miliar per tahun.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang <sup>[1],[4],[5]</sup>

Produksi semen dilakukan dengan melalui 6 tahapan, yaitu *raw material extraction*, *raw material preparation*, *raw meal preparation*, *clinker production*, *cement grinding*, dan *packing*. Dari keenam tahapan tersebut, *raw meal preparation* dan *clinker production* merupakan tahapan yang memerlukan energi paling besar. Hal ini dikarenakan pada tahap ini *raw meal preparation* material awal dibakar pada *calcliner* dengan temperatur mencapai 900°C. Sedangkan pada tahapan *clinker production* material akan dibakar di *rotary kiln* sampai dengan temperatur sebesar 1.500°C. Dengan temperatur pembuatan yang sangat tinggi produksi semen akan menghasilkan sisa produk berupa gas sisa pembakaran dan udara panas yang tak dapat digunakan untuk proses produksi yang sering disebut sebagai gas buang.

Gas buang pada proses produksi semen berasal dari gas sisa pembakaran bahan bakar pada *kiln* dan udara panas yang berasal dari proses pendinginan *clinker*. Sebuah studi menunjukkan bahwa temperatur gas buang dan udara panas yang keluar dari kedua komponen tersebut masih berkisar 320-360°C. Gas dan udara panas tersebut pada umumnya di Indonesia belum dimanfaatkan untuk kepentingan lain selain untuk mengurangi kandungan air di dalam material pembuat semen dan baha bakar.

Teknologi untuk memanfaatkan panas buang dari sisa gas buang produksi semen sudah dibuat sejak tahun 2012 oleh PT.Semen Padang dengan menggunakan siklus pemanfaatan panas buang dari proses pembuatan semen industri nya .Untuk pembangkitan daya baru terpasang dengan kapasitas produksi listrik mencapai 8,5 MW.

Salah satu perusahaan semen yang sedang berkembang di Indonesia adalah PT Semen Baturaja, yang terus menambah kapasitas produksi mencapai jutaan ton per tahun. Dengan kondisi persaingan industri semen yang sangat kompetitif maka selain dilakukan upaya-upaya untuk melakukan penambahan kapasitas produksi semen dan juga upaya efisiensi dan konservasi energi di industri ini.

Salah satu teknologi yang sudah terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik di industri semen adalah pembangkitan listrik dengan memanfaatkan gas buang yang ada pada proses pembuatan semen.

Dalam proses pembuatan semen pada perusahaan PT Semen Baturaja, banyak panas yang terbuang begitu saja dilingkungan tanpa dimanfaatkan dengan baik. Gas buang yang ada belum sepenuhnya dimanfaatkan dan biasanya hanya dimanfaatkan dalam pengeringan material dari proses yang terjadi dalam pembuatan semen. Pada masa yang akan datang PT. Semen Baturaja akan membangun WHRPG (*Waste Heat Recovery Power Generation*) untuk memanfaatkan gas buang sisa produksi semen tersebut.

Prinsip kerja WHRPG hampir sama dengan PLTU konvensional yakni mengubah energi panas menjadi energi listrik. Pada PLTU energi panas umumnya bersumber dari energi panas proses pembakaran batubara. Namun, pada WHRPG energi panas bersumber dari gas buang yang telah tersedia dalam proses pembuatan semen.

## **1.2. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan utama penelitian ini adalah :

Untuk mengetahui besarnya potensi panas gas buang dalam perencanaan pembangkit WHRPG di pabrik baturaja I PT.Semen Baturaja.

## **1.3. Manfaat Penelitian**

Dengan melakukan penelitian ini, maka diharapkan pihak perusahaan yaitu PT. Semen Baturaja Pabrik Baturaja Kabupaten Ogan Komering Ulu – Sumatera Selatan dapat menerapkan salah satu teknologi yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik di industri semen yaitu pembangkitan listrik dengan memanfaatkan gas buang yang ada pada proses pembuatan semen.

## **1.4. Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian yang dilakukan adalah tentang studi perencanaan untuk mengetahui bagaimana kelayakan WHRPG beroperasi memanfaatkan gas buang proses pembuatan semen.

## **2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Sistem Waste Heat Recovery<sup>[4],[5]</sup>**

Meningkatkan nya biaya energi dan dampak pemanasan global dalam beberapa tahun terakhir telah menyoroti kebutuhan untuk mengembangkan sistem energi maju untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi. Salah satu metode yang digunakan adalah pemanfaatan kembali limbah panas atas waste heat recovery.

Waste heat recovery adalah proses menghasilkan energi dan potensial sumber energi tinggi yang hilang ke lingkungan tanpa pemanfaatan yang berguna biasanya mengikuti proses konversi energi industri.

Secara umum, penggunaan limbah panas untuk memanaskan umpan ke boiler atau pemanas awal udara pembakaran, menggunakan limbah panas untuk memanaskan air untuk menghasilkan sebuah steam, sehingga sistem yang dihasilkan oleh boiler dapat memutar turbin dan menghasilkan energi listrik

### **2.2. Kelayakan waste heat recovery<sup>[4]</sup>**

Ada beberapa faktor mempengaruhi kelayakan dari sistem Waste heat recovery. Dengan mengetahui karakteristik sumber panas limbah dan aliran panas maka kelayakan dari sistem waste heat recovery dapat dievaluasi. Faktor-faktor berikut akan memungkinkan analisis kualitas dan efisiensi sistem dan memberi wawasan yang lebih baik tentang kemungkinan desain dan keterbatasannya.

- 1) Suhu panas dan kualitas adalah faktor penting menentukan kelayakan waste heat recovery. Perbedaan suhu antara sumber panas dan panas diserap akan menentukan jumlah penggunaan panas atau kualitas panas. Semakin besar perbedaan suhu, semakin besar jumlah transfer panas persatuan luas permukaan panas, dan sebagai hasilnya, efisiensi yang lebih tinggi dari pertukaran

panas dan efisiensi yang lebih tinggi dari pertukaran panas dan efisiensi secara keseluruhan yang lebih baik dari sistem. Efisiensi maksimum dari pembangkit listrik dapat diberikan sebagai efisiensi carnot sebagai

$$\eta = 1 - \frac{TL}{TH}$$

Keterangan :

$TL = \text{temperatur limbah panas}$

$TH = \text{temperatur heat sink}$

- 2) Kuantitas panas : kuantitas panas atau kandungan panas adalah jumlah energi dalam aliran limbah panas. Kuantitas panas memiliki dua fungsi yaitu suhu dan massa aliran panas
- 3) Gabungan dari aliran limbah panas. Faktor ini akan mempengaruhi proses penggunaan kembali dan pemilihan material untuk pertukaran panas.

### 2.3. Teknologi pembangkit Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG)

Teknologi WHRPG menghasilkan listrik dengan menjalankan parameter turbin uap yang dirancang khusus. Tekanan rendah dan suhu rendah limbah panas industri dengan temperatur mulai dari 120 oC sampai 400 oC digunakan untuk menjalankan generator. Uap yang dihasilkan akan digunakan untuk menciptakan energi mekanik untuk menghasilkan listrik. Meskipun teknologi baru seperti thermoelevrik dan piezoelektrik telah dikembangkan untuk menghasilkan listrik langsung dari panas, tetapi tidak banyak yang digunakan oleh industri karena biaya atau modal yang lebih tinggi.

Seperti disebutkan sebelumnya, efisiensi pembangkit listrik secara signifikan tergantung pada suhu sumber panas limbah. Untuk memiliki proses yang sangat efisiensi, sangat penting untuk mengidentifikasi sumber-sumber limbah panas dalam proses pembangkit. Dua sumber utama panas dalam proses produksi semen adalah:

1. Gas buang dari rotary kiln kisaran suhu untuk gas setelah melalui preheater adalah sekitar 380 oC
2. Limbah udara panas clinker cooler. Rata-rata temperature untuk udara panas dari greate cooler adalah 360 oC.

Pembangkit listrik dibatasi pada sumber limbah panas dari temperature menengah hingga temperature tinggi. Sumber limbah panas ini dapat digunakan secara efisien dalam system WHR untuk menghasilkan listrik. Biasanya, boiler WHR digunakan untuk menghasilkan uap yang mendorong turbin uap untuk menghasilkan tenaga listrik.

### 2.4. Asas Black<sup>[3]</sup>

Asas black apabila ada dua benda temperature yang berbeda kemudian disatukan atau dicampurkan berada dalam system yang tertutup. Maka energi akan berpindah seluruh dari benda yang memiliki temperature tinggi menuju benda yang temperature rendah. Maka mencapai suhu yang sama, energi yang diterima oleh benda bertemperatur yang lebih rendah sama energy yang dilepaskan oleh benda yang memiliki temperatur yang tinggi. Karena energi yang berpindah akibat adanya bedanya temperature sama dengan kalor, maka bias dikatakan bahwa dalam system tertutup , kalor yang dilepaskan sama dengan kalor yang diterima. sebaliknya apabila benda yang disatukan atau bercampur tidak berada dalam system tertutup, maka tidak semua energy dari benda bertemperatur tinggi berpindah menuju benda bertemperatur rendah.

Secara matematis dapat dirumuskan :

$$Q_{lepas} = Q_{terima}$$

$$(m_1 \cdot C_1) (T_1 - T_0) = (m_2 \cdot C_2) (T_0 - T_2)$$

Keterangan :

$m_1 = \text{massa benda mempunyai tingkat temperatur lebih tinggi (gram)}$

$C_1 = \text{k calor jenis benda mempunyai tingkat temperatur lebih tinggi } \left( \frac{\text{joule}}{\text{kilogram}} \text{ } ^\circ\text{C} \right)$

$T_0 = \text{temperatur akhir pencampuran kedua benda } (^\circ\text{C})$

$T_1 = \text{temperatur benda yang mempunyai tingkat temperatur lebih tinggi } (^\circ\text{C})$

$m_2 = \text{massa benda mempunyai tingkat temperatur lebih rendah } (\text{gram})$

$C_2 = \text{k calor jenis benda mempunyai tingkat temperatur lebih rendah } \left( \frac{\text{joule}}{\text{kilogram}} \text{ } ^\circ\text{C} \right)$

$T_2 = \text{temperatur benda yang mempunyai tingkat temperatur lebih rendah } (^\circ\text{C})$

## 2.5. Hukum kalor

Kalor adalah bentuk energy yang diterima oleh suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berubah atau wujud bentuknya. Kalor berbeda dengan temperature, karena temperature adalah ukuran dalam satuan derajat panas. Kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda.

### Hukum kalor jenis

Kalor jenis adalah jumlah yang diperlukan menaikkan temperature dari 1 gr massa bahan sebesar 1 °C. 1 kalori = 4.2 joule dan 1 joule = 0.24 kalori.

$$Q = m \cdot C \cdot \Delta t$$
$$Q = m \cdot C \cdot (T_1 - T_a)$$

Ketentuan :

$Q = \text{banyaknya kalor yang diterima atau dilepas oleh suatu benda } (J)$

$m = \text{massa benda yang menerima atau melepas kalor } (kg)$

$C = \text{k calor jenis zat } \left( \frac{J}{kg} \text{ } ^\circ\text{C} \right)$

$\Delta t = \text{perubahan suhu } (^\circ\text{C})$

## 2.6. Prinsip kerja Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG)<sup>[4]</sup>

Prinsip kerja WHRPG secara umum adalah menggunakan gas buang Kiln pada Boiler untuk memanaskan air dan mengubah air tersebut menjadi uap yang sangat panas yang digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan tenaga listrik dari kumparan medan magnet generator. Sistem Pengaturan yang digunakan pada Power Plant ini menggunakan system pengaturan loop tertutup, dimana air yang digunakan untuk beberapa proses merupakan putaran air yang sama, hanya perlu ditambahkan jika memang level yang ada kurang. Bentuknya saja yang berubah, pada level tertentu berwujud air, tetapi pada level yang lain berwujud uap. Secara sederhana proses pembangkit listrik WHRPG sebagai berikut :

1. Air yang ada di collecting tank dipompakan ke sand filter untuk disaring kemudian dimasukkan ke raw water tank (raw water).
2. Raw water diproses untuk mengurangi kandungan mineral seperti calcium, magnesium, kadar oksigen dan conductivity sehingga memenuhi standart air boiler. Proses ini dinamakan demineralisasi. kemudian air tersebut disimpan ke dalam tangki demin untuk seterusnya digunakan sebagai air pengisi yang dipompakan menuju vakum condenser.
3. Di vakum condenser, air demin bercampur dengan condensate yang telah bersikulasi dan kemudian dipompakan oleh condensate pump ke flasher. Air ini kemudian dipompakan lagi oleh boiler feed pump (BFP) menuju economizer untuk meningkatkan temperature dari 55 °C-200 °C kemudian masuk ke steam drum. Air yang ada di steam drum disikulasikan dengan boiler circulating pump melalui generator bank yang dilewati gas panas dari kiln. Sehingga air tadi mengalami perubahan temperature dari 200 °C hingga 300 °C. Uap yang terbentuk di steam drum dialirkan ke superheater yang mengubah setam jenuh menjadi steam kering. steam kering inilah yang digunakan untuk memutar turbin.

4. Steam masuk ke turbin melalui nozel dan sudu tetap /. Sudu pengarah kemudian diarahkan menuju sudu reaksi dan menghasilkan daya putar. Poros turbin terhubung dengan generator sehingga saat turbin mulai berputar, otomatis generator akan ikut berputar. Generatort inilah yang menghasilkan energy listrik.
5. Steam yang digunakan untuk memutar turbin melalui beberapa stage sehingga mengalami penurunan tekanan dan kecepatan yang kemudian masuk ke vakum condesator akibat proses vacuum. Pada vacuum condesator ini terjadi perubahan fluida dari fase uap menjadi condesat dan penurunan temperature oleh air pendingin dari cooling tower.
6. Air pendingin dari cooling tower disirkulasikan untuk pendingin condesat di vacuum,oil cooler dan air cooler.
7. Sedangkan gas buang dari boiler di isap oleh kipas pengisap agar melewati electrostatic precipitator untuk mengurangi polusi dan kemudian gas yang sudah disaring akan dibuang melalui cerobong.

### **3. METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian tentang perencanaan pembangkit WHRPG Baturaja I PT.Semen Baturaja, yang dilaksanakan pada industry semen PT.Semen Baturaja. Penelitian ini dilakukan pada;

#### **3.2. Metoda Pengumpulan Data**

MetodePengumpulan data dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Metode *Observasi*, yaitu pengumpulan data dengan mengadakan pengamatan secara langsung di pabrik baturaja I PT. Semen Baturaja
2. Studi literatur, yaitu mengumpulakan data-data dari buku referensi dan jurnal-jurnal yang relevan dengan topik penelitian.
3. Wawancara, yaitu pengumpulan data dengan melakukan tanya jawab langsung terhadap pegawai di lingkungan pabrik baturaja I PT. Semen Baturaja.

#### **3.3. Pengolahan Data**

Menghitung kalor yang akan masuk ke boiler (Qin)

##### *A. Menghitung potensi panas untuk inlet AQC Boiler*

1. Persamaan kecepatan aliran gas buang di pipa by pass.
2. Menghitung laju alir volume gas buang di pipa by pass.
3. Menghitung laju alir massa gas buang di AQC boiler.
4. Menghitung potensi panas di AQC Boiler.

##### *B. Menghitung potensi panas untuk inlet SP Boiler*

1. Persamaan kecepatan aliran gas buang di SP.
2. Menghitung laju alir volume gas buang untuk inlet SP Boiler 01.
3. Menghitung laju alir massa gas buang untuk inlet SP Boiler 02.
4. Menghitung potensi panas untuk inlet Boiler 01.
5. Menghitung potensi panas untuk inlet Boiler 02.

#### **3.4. Analisa Data**

Setelah tahap pengumpulan data dan perhitungan, selanjutnya melakukan analisa data yang dikembangkan berdasarkan studi literatur yang dipahami dan dipelajari adalah mencari nilai kelayakan pembangkit WHRPG pabrik baturaja I PT.Semen Baturaja. Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data dan hasil analisa untuk mendapatkan informasi yang harus disimpulkan.

### **4. PERHITUNGAN DAN ANALISA**

#### **4.1. Observasi sistem operasi waste heat recovery power generation di pabrik baturaja I PT.Semen Baturaja<sup>[2],[5]</sup>**

Pembangkit WHRPG di baturaja I PT.Semen Baturaja merupakan salah satu pembangkit ramah lingkungan di indonesia. Pembangkit WHRPG . Pada perencanaan pembangunan pembangkit WHRPG nanti akan bekerja sama dengan new energy and Industrial technology devepolment organization (NEDO) jepang baik dari sisi perencanaan,engineering, konstruksi hingga commisioning.

Pembangkit WHRPG yang akan dipasang di pabrik baturaja I PT.Semen Baturaha . Pada pembangkit ini menggunakan sisa limbah panas dari produksi semen, sumber dari sisa limbah panas berasal dari preheater yang berpotensi panas sebesar 380 C dan pendingin bahan baku semen (clinker cooler) yang berpotensi panas sebesar 360 C.

Dengan memanfaatkan sisa limbah panas tersebut dapat menghasilkan energi listrik sebesar 8,5 MW atau setara 63,3 GWh dalam satu tahun dari panas yang terbuang dalam proses produksi semen. Tenaga listrik yang dihasilkan bernilai Rp 33 miliar pertahun akan mampu menghemat 20% terhadap pabrik baturaja I atau pengurangan pemakaian listrik PLN sebesar 57,6 GWh dalam satu tahun, sehingga akan meningkatkan daya saing PT.Semen Baturaja.

Dengan adanya pembangkit WHRPG nanti diharapkan mampu memiliki salah satu keuntungan yaitu mengurangi Gas CO2 sebesar 43,117 Ton dalam satu tahun.

Pembangkit WHRPG prinsip kerjanya hampir sama dengan pembangkit listrik tenaga uap yakni mengubah energi panas menjadi tekanan uap yang berbeda dari WHRPG dengan PLTU yaitu pada PLTU energi panas dapat diatur sesuai dengan beban generator sedangkan WHRPG energi panas dan debit dari gas buang yang tersedia tidak dapat diatur sesuai beban generator. Perbedaan yang lain tergantung dari sumber panas.Panas PLTU menggunakan energi panas bersumber dari batubara sedangkan WHRPG memanfaatkan panas terbuang.

#### **4.2. Konsep Dasar Pembangkit Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) Di Pabrik Baturaja I PT.Semen Baturaja**

Pembangkit waste heat recovery power generation (WHRPG) di pabrik baturaja I PT.Semen Baturaja adalah pembangkit tenaga listrik yang dihasilkan dari turbin uap yang sumber panas berasal dari preheater dan clinker cooler yang terbuang dapat dilihat gambar 4.1. panas yang berasal dari kiln dimanfaatkan di rawmill dan coalmill terlebih dahulu digunakan terlebih dahulu digunakan untuk penegeringan bahan baku semen , hasil sisa panas dari semen tersebut masuk ke SP boiler, pada pendingin bahan baku semen (clinker cooler) , panas pendinginan bahan baku semen akan masuk ke AQC Boiler, sedangkan gas buang dari boiler di isap oleh kipas penghisap agar melewati electrostatic precipitator untuk mengurangi polusi dan kemudian gas yang di saring akan dibuang melalui ceobong (stack).

Peralatan utama adalah boiler, turbin uap, generator,Trafo utama dan alat bantu (auxiliary). Uap yang dihasilkan dari boiler digunakan untuk memutar turbin, dan uap bekas untuk memutar turbin di dinginkan di dalam condensor untuk di jadikan air agi dan di pompa kembali ke dalam boiler untuk dipanaskan lagi agar menjadi uap yang bertekanan, siklus ini dinamakan siklus tertutup.Generator di kopel dengan turbin dan keluaran generator disalurkan melalui trafo untuk menaikkan tegangannya kemudian diteruskan ke jaringan.

#### ***Prinsip Kerja WHRPG Pabrik Baturaja I PT.Semen Baturaja***

Prinsip kerja pembangkit WHRPG hampir sama dengan prinsip kerja PLTU, membedakan dari prinsip dari prinsip kerja dari WHRPG adalah menggunakan sisa limbah panas dari produksi semen yaitu preheater dengan potensi panas yang berkisar 380C dan pendingi bahan baku semen (clinker cooler) .Prinsip dari WHRPG mempunyai beberapa tahap yaitu

- 1.Demineralized
- 2.Boiler
- 3.Turbin dan Generator

#### **4.3. Analisa penerapan sistem waste recovery power generation di baturaja I PT.Semen s** **A. Data perhitungan potensi panas pada titik AQC boiler**

Untuk menghitung potensi daya panas pada AQC boiler, maka diperlukan data sesuai tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1. Perhitungan Potensi Panas Pada Titik AQC Boiler

No	Keterangan Parameter	Simbol Parameter	Satuan Parameter	Nilai Parameter
1	Temperatur masuk	Tin	C	322,6
2	Temperatur keluar	Tout	C	100,7
3	Tekanan di bypass	Kpa	$\Delta P$	0,757
4	Aliran gas	Vgas	NM3/hr	400.000
5	Massa jenis	$\rho_{gas}$	Kg/hr	1,284
6	Diameter bypass	dbypass	M	3,6
7	Kalor jenis	Cp.in	Kj/Kg C	1,07
8	Kalor jenis	Cp.out	Kj/Kg C	0,91

#### B. Data perhitungan potensi panas pada titik SP Boiler

Untuk menghitung potensi daya panas pada titik SP boiler, maka diperlukan data sesuai tabel berikut ini :

Tabel 4.2. Perhitungan Potensi Panas Pada Titik SP Boiler

No	Keterangan Parameter	Simbol Parameter	Satuan Parameter	Nilai Parameter
1	Temperatur masuk	Tin 1	C	362,2
2	Temperatur masuk	Tin 2	C	362,2
3	Temperatur keluar	Tout 1	C	215
4	Temperatur keluar	Tout 2	C	207,9
5	Tekanan di bypass	$\Delta P1$	Kpa	0,531
6	Tekanan di bypass	$\Delta P2$	Kpa	0,531
7	Aliran Gas	Vgas	NM3/hr	265.000
8	Diameter pipa	d	M	3,6
9	Kalor jenis	Cp362,3	Kj/Kg.C	1,0946
10	Kalor jenis	Cp215	Kj/Kg.C	1,006
11	Kalor jenis	Cp207,9	Kj/KG.C	1,001

## 5. PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisa dari penelitian yang telah dilakukan di Pabrik Baturaja I PT.Semen Baturaja, maka apabila penelitian ini dapat diterapkan akan didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Pembangunan WHRPG ditujukan untuk memenuhi pasokan energi listrik dan menjadikan listrik sebagai pemacu upaya efisiensi operasional dan menekan emisi gas buang sehingga lebih ramah lingkungan.
2. WHRPG memanfaatkan gas buang sisa produksi semen.
3. Pengoperasian WHRPG memungkinkan perseroan berpotensi dapat menghemat biaya listrik lebih dari Rp 120 miliar per tahun.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arismunandar,W, 1986; “*Penyegaran Udara*”, Pradnya paramita, Jakarta
- [2]. Balai Diklat PT Semen Baturaja; 1999; “*Proses Pembuatan Semen di PT. Semen Baturaja*”; PT. Semen Baturaja: Baturaja.
- [3]. Cengel, A. Dr. Yunus; 1997; ‘*Thermodynamics and heat transfer*’; Megraw hill; Unites states.

- [4]. Radovic; 1992; "*Efficiency of Energy Conversion*"; Utulsa; United States.
- [5]. "*Waste heat recovery*"; Technology and opportunities in U.S. Industry; 2009; U.S Department of Energy Industrial Technologies Program.