

## PRODUKTIVITAS PEMBANGKIT LISTRIK WASTE HEAT RECOVERY POWER GENERATION (WHRPG) PABRIK SEMEN

Nugrahad<sup>1</sup>, Farid Mujayyin<sup>2</sup> dan Luwi Adi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi Teknik Perawatan Mesin dan Peralatan Industri,  
Akademi Komunitas Semen Indonesia-Gresik  
Jl. Veteran Gresik, Jawa Timur 61122.

\*Email: <sup>1</sup>[nugie1228@gmail.com](mailto:nugie1228@gmail.com), <sup>2</sup>[faridmujayyin@gmail.com](mailto:faridmujayyin@gmail.com), <sup>3</sup>[luwi@sidistributor.com](mailto:luwi@sidistributor.com)

### Abstrak

*Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) merupakan pembangkit energi listrik dari gas panas buang pabrik semen pada rotary kiln yang melepaskan CO<sub>2</sub> dikonversi menjadi listrik. Pemanfaatan listrik yang dihasilkan digunakan pabrik untuk suplai kebutuhan listrik yang dipergunakan penerangan, peralatan dan lain sebagainya. Sejak tahun 2014-2017 hingga sekarang beroperasinya hanya mampu menghasilkan kapasitas listrik 28,6 MW masih jauh dari target kapasitas yang direncanakan. Hal ini memerlukan strategi operasi dan maintenance yang tepat agar kapasitas energi listrik WHRPG dapat meningkat. Upaya peningkatan kapasitas produksi pembangkit listrik tersebut perlu dilakukan perencanaan operasional, dan pemeliharaan dengan menggunakan tidakan Total Produktive Maintenance (TPM), perbaikan teknis pada kerusakan dan setting temperatur peralatan WHRPG seperti boiler serta komponen lainnya diperbaiki agar mendapatkan performa yang lebih baik sehingga produktivitas WHRPG dapat meningkat. Hasil penerapan TPM meliputi melakukan 5R, identifikasi kerusakan/inspeksi peralatan, menjaga dan merawat secara rutin, pelatihan karyawan, memaksimalkan potensi karyawan, menjamin keselamatan kerja, mengoptimalkan kantor TPM, dan pengembangan organisasi. Telah didapatkan melalui perhitungan OEE (Overall Effectiveness Equipment) kinerja teknologi WHRPG sebesar 78,96 % dari nilai availability sebesar 92,18 % , performance sebesar 95,23 % dan quality ratio sebesar 89,95 % . Nilai efektivitas pada usaha produksi listrik sangat tepat pada proses improvement perawatan dan melaksanakan setting ulang alat sehingga kenaikan kapasitas energi listrik yang dihasilkan meningkat menjadi 30,6 MW.*

**Kata kunci:** WHRPG, TPM, Performance

### 1. PENDAHULUAN

Teknologi *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) merupakan pembangkit listrik tenaga uap yang memanfaatkan gas panas buang pabrik semen. Penerapan teknologi tersebut sebenarnya dapat menurunkan biaya produksi, dapat meningkatkan efisiensi energi, dan dapat menurunkan emisi udara dan efek gas rumah kaca dalam rangka menghambat laju pemanasan global. Namun tujuan tersebut masih jauh terlaksananya program penurunan emisi gas dan pemanfaatannya. Sejak tahun 2014-2017 hingga sekarang operasional pembangunan WHRPG capaian pemanfaatan panas gas buang dari pabrik semen baru menghasilkan 28,6 MW dan mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub> Sebesar 122,358 ton/tahun real prosentasenya 77,02 %, hal ini masih jauh dari target 30,6 MW. Rivaldi dkk. (2019) meneliti WHRPG di Pabrik Semen Padang yang menghasilkan baru mencapai kapasitas 7,868 MG, dikarenakan desain pembangkit belum tercapai maksimal, baru mencapai 77% dari kapasitas desain. Secara studi kelayakan baik dari segi visi misi tujuan berdirinya WHRPG di pabrik semen melakukan pengelolaan dampak lingkungan yang lebih baik guna mengendalikan dampak lingkungan yang timbul, termasuk upaya penurunan emisi CO<sub>2</sub> dan dampak pemanasan global, pengurangan pencemaran udara.

Kendala pada *performance* pembangkit listrik tenaga uap di komponen peralatan WHRPG seperti Preheater boiler, AQC Boiler, condensing steam turbine dan auxiliary, pompa, steam turbine dan elektrik generator memerlukan setting ulang. Seperti setting gas panas yang kurang tepat dalam aspek pengoperasian. Komponen equipment membutuhkan keandalan pada kesiapan kinerja operasi dan maintenance yang akan menjadi penentu pada project pembangkit listrik tenaga uap. Pemasangan atau instalasi pada komponen WHRPG tidak selamanya dapat bekerja maksimal namun diperlukan pemantauan atau inspeksi serta perawatan secara berkala untuk menjaga peralatan

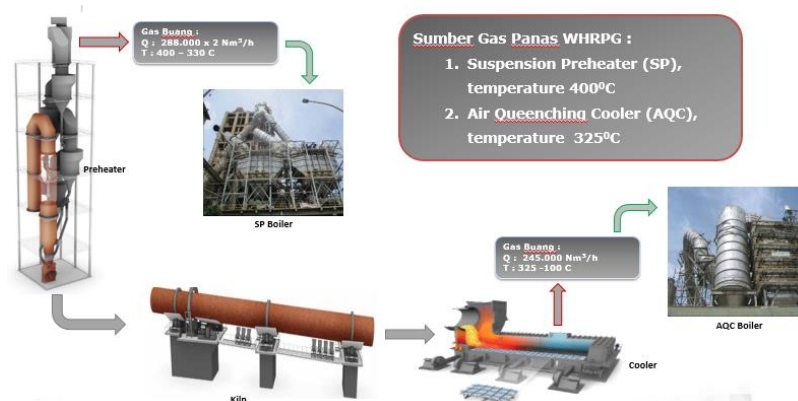
WHRPG tetap optimal. Beberapa faktor terjadinya penurunan produktivitas equipment disebabkan oleh faktor eksternal yaitu kondisi cuaca lingkungan, curah hujan, kelembaban dan kondisi alam. Sedangkan faktor internal kondisi peralatan yang sudah tua, kurangnya perawatan, karyawan tidak memiliki keahlian dalam bidang equipment whrpg, kesalahan pemasangan atau kurang akuratnya pengukuran.

**2. METODOLOGI**

Metode penyelesaian yang tepat untuk mencegah terjadinya kerugian dari project tersebut harus melakukan perbaikan pada faktor internal fokus pada aspek teknis disegala komponen dan sistem pengelolaan WHRPG agar produktivitas energi listrik yang dihasilkan optimal. Pelaksanaan peningkatan produktivitas komponen tersebut dimulai dari perencanaan inspeksi atau pengecekan akurat disetiap komponen, tindakan perbaikan dilakukan untuk meningkatkan keandalan peralatan, sampai dengan pembongkaran dan pemasangan peralatan hingga overhaul. Peningkatan kapasitas energi listrik yang dihasilkan dapat terwujud hanya dengan menjalankan operasional pemeliharaan secara bersamaan dengan penerapan *total productive maintenance* (TPM) yang mengacu pada standart operasional prosedur industri. Sedangkan langkah perbaikan pada equipment WHRPG berdasarkan schedule maintenance yang ditentukan sebelumnya, fokus pada perbaikan yang ering terjadinya kerusakan, selalu berupaya konsisten menjalankan maintenance pada kondisi yang kurang optimal, menjaga kualitas perbaikan perawatan peralatan optimal, melakukan pelatihan atau training kepada karyawan sehingga skill dan pengetahuan semakin siap untuk menjalankan pekerjaan yang penuh dengan permasalahan yang dihadapinya, mewujudkan lingkungan whrpg tetap nyaman dan aman sesuai amanah keselamatan dan kesehatan kerja, membentuk gugus tugas TPM serta memfungsikan office TPM/kantor ruang kerja karyawan WHRPG untuk mempermudah koordinasi dan bernuansa kerja yang produktif terakhir melakukan pengembangan potensi masing-masing personal untuk dibentuk secara regenerasi. Fondasi ke delapan pilar TPM ditumpu dengan karaywan komitmen implementasi 5R (Ringkas, Rapi, Resik, Rawat dan Rajin) dilingkungan WHRPG. Sehingga performance peralatan dapat diketahui melalui perhitungan *Overal Effectivitas Equipment* sehingga *prosentase performance ratio, availability ratio, dan quality ratio*.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Komponen penting WHRPG yaitu steam generator digunakan bahan bakar fosil maupun nuclear-fuel juga kombinasi komplek antara *economizer, evaporator, super preheater, preheater*, dan air preheater. Sedangkan Boiler menurut Ali Amiri, Mohammad Rahim Vaseghi (2015) merupakan mesin pembakaran pada fluida cair yang digunakan untuk mendapatkan steam atau uap panas biasa disebut dengan pembangkit listrik yang berasal dari uap air pada gas panas buang komponen kiln, preheater dan coal mill. Potensi gas buang pabrik yang dapat dikonversi menjadi sumber listrik terdiri dari ; empat set suspension preheater boiler, lima set air cooled condenser ACC dan watertreatment, satu set steam turbine dan electrical generator, satu set *cooling tower*, satu set *automation dan synchronizer*. Semua komponen tersebut terpusat pada pengaturan room kendali WHRPG dengan alat PLC-DCS allen badrey terkontrol dengan teknologi komputer *dell precision T7810 workstation*.



**Gambar 1. Potensi gas buang pabrik semen menjadi listrik**

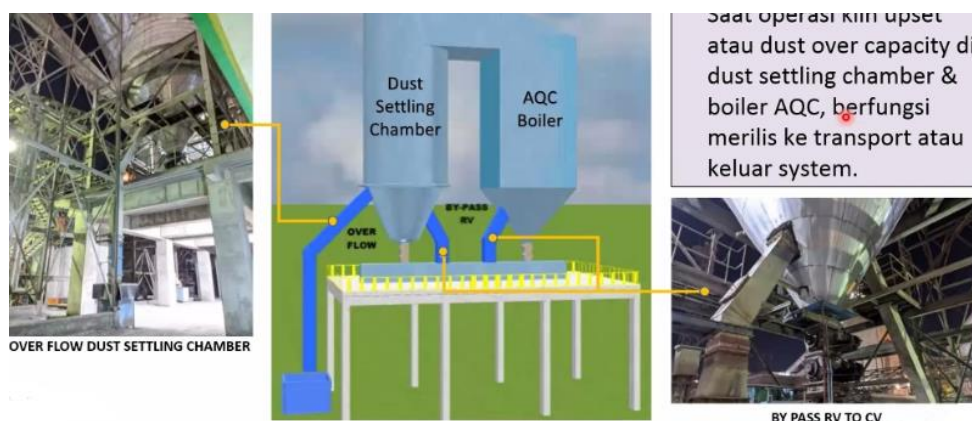
Impact operasional kiln atas WHRPG berdampak positif seperti ; *speed Id fan preheater* turun 2% (*dust load* turun karena sudah ditangkap di *suspension preheater boiler*) penghematan biaya *perline kiln*. *Coating di Indusct Draught fan* preheater lebih lama dari 1-2 x / bulan menjadi 1x /2 bulan (*dust load* turun karena sudah ditangkap di *suspension preheater boiler* penghematan potensi loss benefit pada penjualan semen. Pemakaian air di conditioning tower turun 10 m<sup>3</sup>/Jam (temperatur diserap *suspension preheater boiler*). Opacity di stack raw mill dan cooler lebih baik (temperatur dan *dust load* lebih rendah). *Dust tangkapan boiler* dapat masuk ke *dust system* eksisiting.

Ada beberapa dampak negatif yang harus diselesaikan dengan standart operasioanl komponen whrpg agar bisa sesuai yaitu ;

- pengaturan gas panas buang kiln untuk kebutuhan panas di raw mill sedangkan coal mil harus berbagi dengan WHRPG di saat *suspension preheater* berproduksi terak dengan temperatur preheater lebih dari 300°C.
- Pengaturan gas panas buang clinker cooler untuk kebutuhan panas di cement mill agar terbagi untuk WHRPG pada temperatur *Air Queenching Cooler Boiler* saat produksi terak lebih dari 300°C

Menurut Ali Amiri, Mohammad Rahim Vaseghi (2015) Pemanfaatan gas buang sisa pembakaran di kiln untuk menghasilkan energi listrik sebagai substitusi power sebesar 19,7 MW (154 juta KWH/tahun) keuntungan pembangunan power plant sendiri, pabrik dapat secara kontinyu supply power ke unit produksi stabil, biaya per KWH relatif lebih murah, tidak ada pembagian waktu tarif/biaya per KWH 24 jam sama, dan tidak ada beban tetap bila pabrik berjalan tanpa WHRPG. Setelah diterapkan ada tambahan pekerjaan yang harus dilaksanakan dalam pemanfaatan gas panas buang menjadi energi terbarukan diantaranya harus ada biaya investasi karena harus ada power standby bila ada overhaul salah satu unitnya, harus menyediakan tenaga yang profesional untuk menjalankan *coal mill boiler* dan turbin, menyiapkan tim trouble shooting yang handal bila ada gangguan yang mengancam operasional pabrik (PLN banyak cadangan sumber pembangkitnya, menyediakan sparepart yang lengkap bila dibutuhkan sudah siap pakai, harus mengikuti peraturan terhadap emisi yang diberlakukan KLHK laporan tersendiri apa yang dihasilkan pengukuran emsisi yang di CEMS secara berkala kepada KLHK, dan harus menyediakan batubara sebagai bahan bakar dengan baik.

Tahapan perbaikan pada *suspension prehaeter* memanfaatkan gas panas dari rotary kiln sebagai pemanas meningkatkan kehandalan *dust transport system boiler* pada *Air Queenching Cooler / AQC boiler* merupakan menggunakan panas buang pada cooler sebagai sumber panas. Sumber panas yang digunakan untuk pemanas air pada boiler. Sehingga gas buang akan memanaskan air untuk menjadi steam yang nantinya digunakan untuk memberi kerja pada turbin.



**Gambar 2. Setting dust transport system AQC**

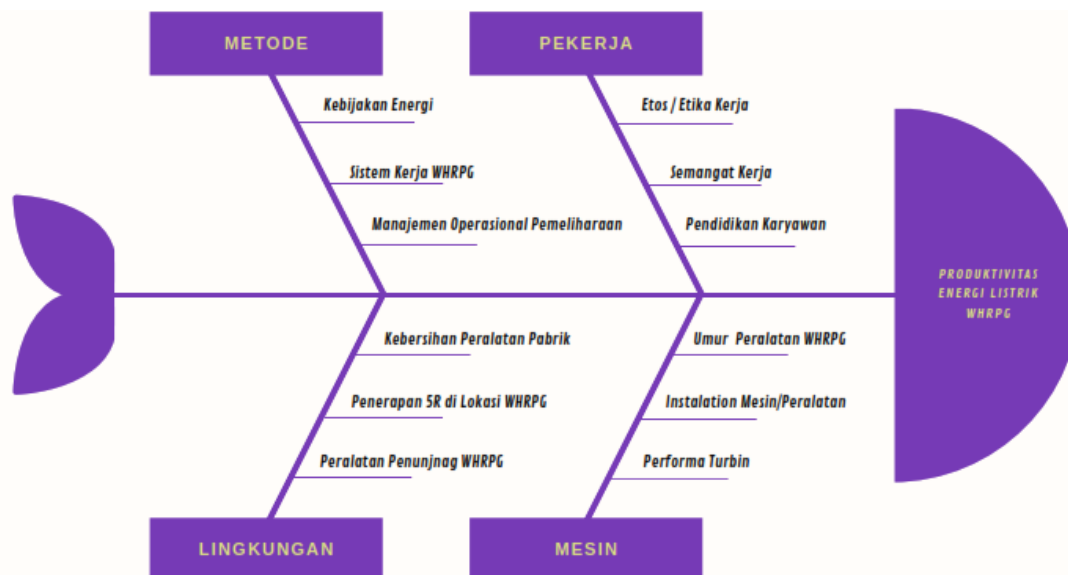
*Setting dust transport system* bertujuan untuk mengatur gas panas buang yang dihasilkan dari kiln dan preheater sehingga akan dapat dikonversi dalam AQC boiler agar hasil pemanas steam dapat meningkatkan kinerja turbin dengan maksimal. Semakin menambah jumlah gas panas buang dari komponen tersebut akan semakin baik dan meningkat tentunya.

Tahapan yang dilakukan *Total Productive Maintenance* Ali A. Sivanantham, N. M. Sivaram (2017) yaitu ; Peratama melaksanakan *autonomus maintenance* yaitu melakukan pendeteksian secara dini pada setiap ketidaknormalan komponen sehingga kerusakan komponen WHRPG dapat dicegah. Inspeksi meliputi komponen penggerak turbin, motor penggerak, fan, area kiln, boiler, raw mill dan komponen preheater baik secara visual maupun pemeriksaan secara deteksi alat ukur. Alat ukur yang digunakan adalah rotary all 2000, lux meter, stetoskop, sound level meter, vibra meter, termogan, dan multimeter berikut hasil pemeriksaan pada peralatan WHRPG yang berada di pabrik semen dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1. Hasil Summery Pemeriksaan Komponen WHRPG**

Kegiatan	Hasil	Kegiatan	Hasil
Pemeriksaan Visual	5 Normal	Mengukur arus listrik	2 Normal
Pengecekan putaran motor	2 Error	Mengecek tegangan listrik	2 Normal
Mengecek kebisingan mesin	2 Error	Cek hambatan listrik	2 Normal
Getaran Penggerak Turbin	1 Normal	Pengecekan suara turbin	1 Normal
Pengukuran suhu panas	2 Normal	Cek kesejajaran poros	5 Normal

Pada pemeriksaan komponen whrpg menggunakan peralatan di cek secara berulang untuk mencegah terjadinya kesalahan pengukuran secara visual semua normal dan standart namun memerlukan pengencangan baut/bolt yang kendur. Putaran motor 2 penggerak harus di setting ulang sehingga putaran motor menjadi balancing. Pabrik semen mempunyai resiko bahaya terhadap suara bising yang diakibatkan oleh gerakan mesin sangat bising namun adanya pengecekan kebisingan dapat di minimalkan sehingga para karyawan yang bekerja memperbaiki tetap nyaman asal menggunakan *ear plug* (pelindung telinga ditempat kerja). Turbin penggerak memiliki getaran yang sangat tinggi karena peralatan ini memerlukan energi yang cukup besar dan cukup cepat putarannya untuk mengkonverter setelah dicek getaran masih dibawah rata-rata dalam kondisi wajar. Pengukur suhu panas dilingkungan whrpg sebaiknya memang panas namun dengan usaha untuk memaksimalkan potensi gas buang sehingga energi listrik dapat meningkat. Pengukur arus listrik, tegangan listrik dan hambat listrik menggunakan multimeter mendapatkan nilai ukur normal. Sedangkan pemeriksaan kesejajaran poros/*alignment shaft* hanya mengalami pergesaran yang masih dalam kondisi normal.



**Gambar 3. Diagram Fishbone Produktivitas Energi Listrik WHRPG**

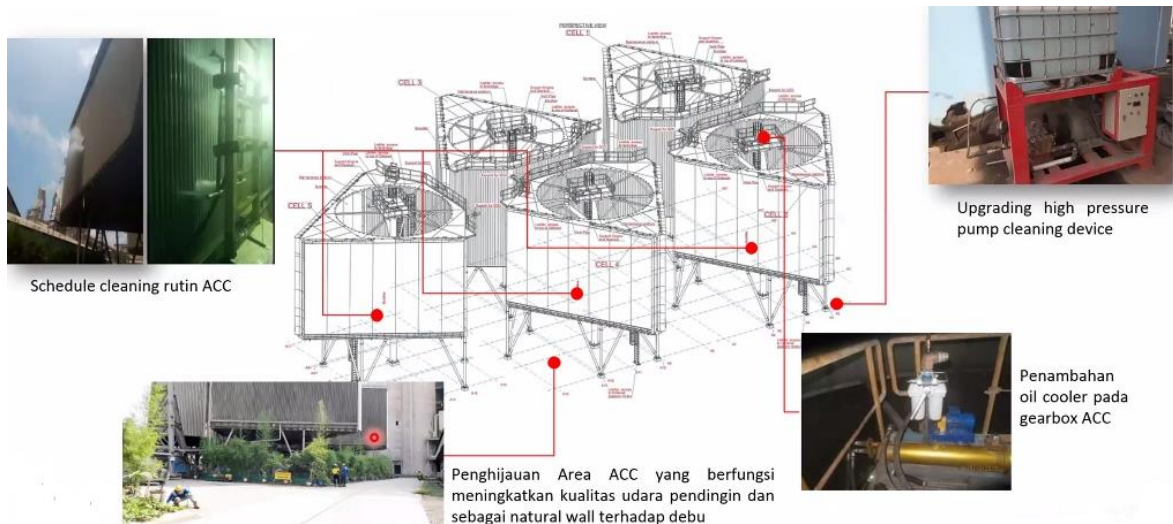
Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas energi listrik pada pembangkit listrik WHRPG yaitu ; Pekerja harus memiliki etos dan etika kerja, pekerja memiliki semangat kerja, pendidikan karyawan paling tidak lulusan pendidikan tinggi setidaknya lulusannya diploma, metode pada top manajemen yang mengatur kebijakan energi, sistem kerja WHRPG

operasional pemeliharaan yang diterapkan, lingkungan harus memiliki kebersihan pada peralatan pabrik, menerapkan 5R di lokasi WHRPG, dan peralatan pendukung terkait investasi peralatan WHRPG.

Tahapan kedua TPM yaitu melakukan perbaikan pada area yang bermasalah atau problem setelah diketahui ketidak normalan alat. Setelah melakukan perbaikan/mengganti komponen dikarenakan komponen rusak semua karyawan bertanggungjawab melakukan *improvement* sampai dalam keadaan normal contoh pada penggantian bolt, motor penggerak dan *compressor room*. Tahap ketiga yaitu melakukan kegiatan perawatan secara terencana dan membuat schedule *maintenance* menggunakan tabel excel terdiri dari list komponen dan waktu kapan harus ganti. Lalu keempat menerapkan *quality maintenance* menangani problem pada peralatan yang mengalami gangguan saat produksi berlangsung/kondisi mesin running. Kelima penyuluhan pada semua karyawan dikemas dengan training singkat selama 1 hari selain tujuannya untuk meningkatkan dan mengembnagkan ilmu maintenance diperlukan untuk mengkaji bersama bagaimana upaya-upaya yang direncanakan di setiap problem komponen sehingga menjadi normal. Keenam aspek keselamatan dan kesehatan karyawan diprioritaskan untuk menjaga lingkungan kerja yang kondusif, nyaman dan menarik itulah kunci yang diterapkan pada pola utama maintenance sehingga dapat menjamin keseluruhan pegawai. Ketujuh WHRPG memiliki office untuk menanungi semua karyawan dan anggota didalamnya sehingga koordinasi serta kantor yang membangun jiwa semangat baik secara motivasi dari informasi manajemen, adaptif, dan produktif sehingga kondisi WHRPG tergambar jelas di papan informasi. Kedelapan mengembangkan organisasi kelembagaan baik melalui merombak struktur oragisasi sampai kepada regenerasi dari kepala seksi hingga bisa naik menjadi manager namun pengembangannya melalui keterampilan karyawan, pengetahuan/*knowledge* dan meningkatkan tanggungjawab karyawan.

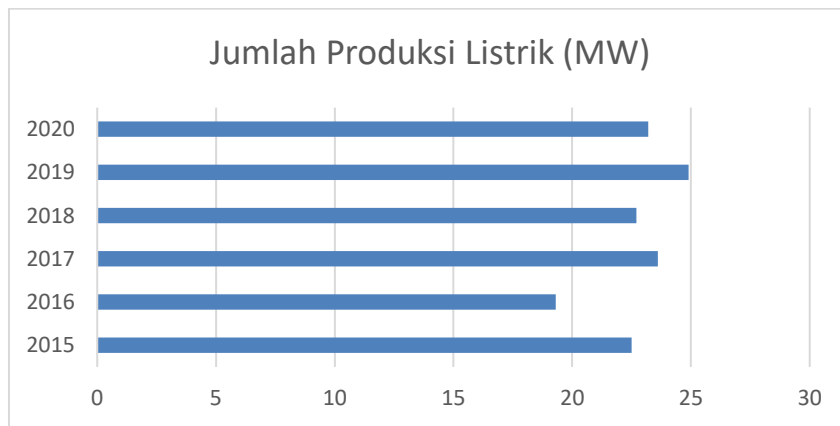
Penerapan 5R merupakan tahapan terakhir dalam implementasi TPM, penerapan 5R yaitu kegiatan yang dimulai dari Ringkas, Rapi, Resik, Rawat dan Rajin untuk selalu meningkatkan dan memperbaiki produktivitas kerja, kita sebut rutinitasnya gema dilaksanakan setiap hari jum'at seluruh karyawan dikumpulkan diawali dengan apel pagi, bersih-bersih semua lingkungan kerja bersama-sama dan diskusi urun rembug membahas problem dimasing-masing unit atau person yang dihadapi lalu dibuat matrik penyelesaian permasalahan yang ada. papan 5R sudah dibuat dengan amat baik yang diberi identitas corner WHRPG 5R terdapat struktur organisasi, pembagian tugas/pekerjaan, rencana kerja, prosedur hasil pelaksanaan kinerja organisasi dan evaluasi kinerja yang terus di update perkembangannya melalui grafik/*chart* capaian selama sebulan sekali sehingga lingkungan kerja menjadi menarik dan suasana akuntabel dan terlihat transparan. Eko Nursubiyantoro, Puryani, Mohammad Isnaini Rozaq (2016) Program TPM diharapkan mempunyai kemampuan dalam perbaikan dan mendapatkan rekomendasi *improvement* pada lingkungan pekerjaan. Pada area WHRPG di bagian workshop dibuat bersih dan senyaman mungkin darn menjamin keselamatan para pekerja mencegah terjadinya kecelakaan sehingga para pekerja menjadio optimal dalam pekerjaan pengecekan maupun pada saat perbaikan. Tampak terlihat setiap perlatan diberikan tanda garis batas, diberi nama peralatan serta rambu-rambu seperti ; hati-hati, awas licin, tegangan tinggi, dan tanda STOP serta petunjuk simbol k3 kerja pada area di setiap peralatan.





**Gambar 4. Maintenance & Improvement Optimalisasi Air Cooled Condenser**

Upaya yang kedua merupakan maintenance dan improvement dengan optimalisasi air cooled condenser dimulai dari membuat schedule cleaning rutin ACC agar lingkungan whrpg tetap terjaga kebersihannya. Lalu mengupgrade tekanan tinggi pada pompa sehingga dapat melakukan pembersihan peralatan ruang udara dan saluran pipng. Melakukan penambahan oil cooler pada gearbox sehingga proses pelumasan secara rutin terhadap komponen yang bergerak terus berjalan secara kontinyu. Membuat suasana hijau di area ACC, penghijauan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas udara pendinginan dan sebagai natural wall terhadap debu dan kotoran lainnya yang menghambat proses produksi listrik di WHRPG.



**Gambar 5. Kinerja Produksi Listrik WHRPG**

Kinerja produksi energi listrik whrpg mengalami naik turun sehingga pada periode pertama project WHRPG dijalankan hingga tahun 2020 hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor tentunya yang paling utama adalah produktivitas para karyawan dan peralatan mesin whrpg, pada tahun 2021 optimis dengan target kisaran 26 sampai dengan 28 Mega Watt. WHRPG akan mengalami kenaikan dibanding tahun sebelumnya dikarenakan para pekerja sudah berpengalaman selama 5 tahun dan memiliki kemampuan operasional setting maintenance mesin.

Perhitungan nilai OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) Eko Nursubiyantoro, Puryani, Mohammad Isnaini Rozaq (2016) dimulai dari menghitung nilai prosentase availability ratio, lalu menghitung nilai performance ratio, kemudian menghitung prosentase quality ratio. Diperoleh rata-rata jam kerja karyawan dalam satu shift 480 menit/hari jadi jika dialokasikan setiap bulannya dengan waktu efektif 25 hari alokasi waktu jam kerja 12.000 menit, sedangkan proses produksi listrik WHRPG membutuhkan kapasitas dan waktu 4500-12000 kg/jam.

**Tabel 2. Jumlah produksi listrik dan kegagalan bulan Agustus 2020-Juli 2021**

Bulan	Jumlah Produksi (MW)	Defect (MW)	Bulan	Jumlah Produksi (MW)	Defect (MW)
Agustus	22	6	Februari	25	3
September	23	5	Maret	26	2
Oktober	25	3	April	26	2
Nopember	26	2	Mei	27	1
Desember	22	6	Juni	27	1
Januari	24	4	Juli	28	0

Produksi listrik WHRPG tidak diperlukan target waktu dan jumlah kapasitas tetapi mesin / peralatan steam siklus rankie pada turbin dibutuhkan tetap beroperasi dan dibutuhkan manajemen pemeliharaan yang baik sehingga dapat mengurangi down time akhirnya mengkonversi gas panas buang sebanyak-banyaknya. Kegagalan target produksi listrik disebabkan beberapa faktor diantaranya setting temperatur dan sistem pemeliharaan. Hasil perhitungan *availability* teknologi whrpg dengan menggunakan rumus dihasilkan pada tabel berikut.

**Tabel 3. Perhitungan Availability Ratio bulan agustus 2020-Juli 2021**

Bulan	Loading Time (menit)	Total Unplanned Downtime (menit)	Operating Time (menit)	Availability Rate (%)
Agustus	92230	4000	88230	95,66
September	61350	7200	54150	88,26
Nopember	70050	9700	60350	86,15
Oktober	79800	6000	73800	92,48
Desember	90050	9000	81050	90,01
Januari	60450	5600	54850	90,74
Februari	71450	8000	63450	88,80
Maret	70660	7075	63585	89,99
April	89020	7800	81220	91,24
Mei	81500	8500	73000	89,57
Juni	70200	7750	62450	88,96
Juli	92000	7100	84900	92,28
Average				90,35

Pada perhitungan *availability ratio* di bulan Agustus, Oktober, dan Juli mengalami kenaikan senilai 95,66 %, 92, 48 % dan 92,28 % sehingga rata-rata keseluruhan dalam setahun prosentase *availability rationya* sebesar 90,35 %.

Sedangkan perhitungan *performance ratio* dengan implementasinya dihasilkan perhitungan *performance ratio* mesin produksi energi listrik whrpg di bulan agustus sebesar 95,79 % jika dihitung semua setiap bulan maka tampak hasil *performance ratio* teknologi whrpg ditampilkan pada tabel 4 di bawah ini.

**Tabel 4. Perhitungan performance ratio**

Bulan	Operating Time (menit)	Proceed Amount	Ideal Cycle Time	Performance Ratio
Agustus	48230	2200	21	95,79
September	54150	2300	22	93,44
Nopember	60350	2500	21	86,99
Oktober	73800	2600	24	84,55
Desember	81050	2200	21	57,00
Januari	54850	2100	23	88,64
Februari	63450	2500	24	94,56

Maret	63585	2600	19	77,69
April	81220	2600	18	57,62
Mei	73000	2700	20	73,97
Juni	62450	2700	20	86,47
Juli	84900	2800	21	69,26
				81,50

Nilai prosentase tertinggi pada bulan agustus dan februari yang mengalami peningkatan yaitu 95,79 % dan 94,56 % performa rata-rata nilai performance teknologi whrpg sebesar 81,50 % nilai *performance* dalam kondisi normal namun perlu adanya *improvement* dan perbaikan pada komponen peralatan whrpg meliputi beberapa upaya yaitu optimalisasi TPM, optimalisasi Gemba, optimisasi ruang hijau, dan kebersihan lokasi di lingkungan pabrik sehingga ke depan dapat bertambah baik secara fisik.

Berdasarkan perhitungan *quality ratio* produksi listrik WHRPG di bulan agustus sebesar 65,89 % jika dihitung semua setiap bulan maka akan tampak hasil dari *quality* mesin whrpg tampak pada tabel 5 di bawah ini.

**Tabel 5. Perhitungan Quality ratio**

Bulan	Deffect Amount	Proceed Amount	Quality ratio
Agustus	6	74	65,89
September	5	76	69,42
Nopember	3	79	75,20
Oktober	2	80	77,50
Desember	6	70	61,43
Januari	4	73	67,52
Februari	3	76	72,05
Maret	2	79	76,47
April	2	71	68,18
Mei	1	82	80,78
Juni	1	78	76,72
Juli	0	75	75,00
Rata-rata Quality ratio			72,18

Poin pentingnya bagaimana peralatan WHRPG agar dapat berjalan optimal sesuai dengan fungsinya sehingga diupayakan agar *performance* bisa tinggi salah satunya rekondisi dan *adjsutmen* pada komponen yang mengalami kerenggangan pada bolt atau mur baut mesin longgar dan bergetar dengan melebihi batas normal. Pelaksanaan *maintenance* dijalankan secara konsisten dan efektif sehingga akan terdeteksi permasalahan komponen whrpg sebelum dioperasikan. Besar kerugian yang mempengaruhi *performance* yaitu *error* sesaat dan kecepatan rendah sehingga proses produksi listrik akan mengalami hambatan sementara. Nilai OEE (*Overal Effectiveness Equipment*) yaitu dari perhitungan *Availability* 90,35 % dikalikan dengan *Performance* 81,50 % dan dikalikan *Quality* 72,18 % sehingga total nilai OEE sebesar 53,14 % nilai ini memang jauh dari nilai standart dunia pada umumnya. Sehingga perlu *improvement* dan *adjustment* pada komponen WHRPG agar dapat meningkat produktivitas energi listrik yang dihasilkan.

Total nilai OEE mengalami kenaikan sebesar 53,14 % dari total *availability*, *performance*, dan *quality* dimasing-masing *ratio equipment*. Sehingga peningkatan performa mesin produksi energi listrik WHRPG dapat ditingkatkan produktivitasnya. Penyebab dari rendahnya nilai OEE telah dikathui kemudian semua manajemen dan karyawan WHRPG komitmen untuk memperbaiki dan peningkatan kinerja agar dapat ditempuh dengan metode *Total Produktive maintenance* pada kondisi *breakdown* maupun *downtime* tidak semata harus berhenti namun dilakukan *setting ulang*



pada temperatur preheater, raw mill dan area kiln melalui pengoperasian di ruang kendali dan optimalisasi TPM.

Peningkatan signifikan yang di dapat telah diketahui nilai *availability* sebesar 92,18 % , *performance* sebesar 95,23 % dan *quality ratio* sebesar 89,95 % telah dihitung nilai total OEE naik menjadi 78,96 % . Nilai efektifitas pada usaha produksi listrik sangat tepat pada proses improvement perawatan dan melaksanakan setting ulang alat sehingga kenaikan kapasitas energi listrik yang dihasilkan meningkat menjadi 30,6 MW. Berdampak positif melalui upaya setting temperatur dan penentuan key performance indikator pada setiap tahun oleh pihak manajemen kedepan maksimalisasi maintenance dan operasional pada saat mesin berjalan dan produksi tidak bergantung pada proses produksi semen. Namun memerlukan kesiapan peralatan whrpg disetiap komponen baik itu *preheater, raw mill, kiln, coal mill, kondensor* dan turbin.

#### 4. KESIMPULAN

Pengaruh besar yang diterapkan pola TPM (*Total Produktive Maintenance*) pada peralatan dan para pekerja di WHRPG sangat berperan besar. Terutama pada perbaikan dan setting temperatur kiln dan *preheater* yang mendukung gas panas buang semakin besar sehingga pencapaian target produksi listrik dapat ditingkatkan. Sedangkan metode *maintenance* atau perawatan berkala dilakukan dengan fokus pada problem yang dihadapi terus dilakukan perbaikan dan peningkatan selama kegiatan gema yang terus berkesinambungan di tempat kerja. Nilai semula *Overall Effectiveness Equipment* sebesar 53,14 % diperoleh namun setelah di upayakan melalui TPM dan perbaikan melalui penerapan *Total Produktive Maintenance* seperti kegiatan gema ditempat kerja para karyawan WHRPG telah meningkatkan nilai OEE sebesar 78,96 % di setiap ratio komponen. Nilai efektifitas pada usaha produksi listrik sangat tepat pada proses improvement perawatan dan melaksanakan setting ulang alat sehingga kenaikan kapasitas energi listrik yang dihasilkan meningkat menjadi 30,6 MW.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali Amiri, Mohammad Rahim Vaseghi (2015). Waste Heat Recovery Power Generation System For Cement Production Process. *Journal IEEE Transaction On Industry Applications*, Volume 51 No. 1 page 13-19.
- Ali A. Sivanantham, N. M. Sivaram (2017). A literature review on Total Productive Maintenance. *International Journal of ChemTech Research CODEN (USA) : IJCRGG*, Volume 10, No. 13 page 138-144.
- Daeny Septi Yansuri (2018). Perencanaan Sistem Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) Pabrik Semen. *Jurnal Teknik Elektro Volume 8, No.2 Universitas Palembang*, Halaman 1-8.
- Eko Nursubiyantoro, Puryani, Mohammad Isnaini Rozaq (2016). Implementasi Total Productive Maintenance (TPM) dalam Penerapan Overall Equipment Effectiveness (OEE). *Jurnal Optimasi Sistem Industri (OPSI). Volume 9 No. 1* Halaman 24-32
- Nina Hairiyah, Raden Rizki Amalia, Rino Adi Wijaya (2019) Analisis Total Productive Maintenance (TPM) Pada Stasiun Kernel Crushing Plant (KCP) Di PT. X, *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, Volume 23, No. 1, Halaman 103-110
- Ranteshwar Singh, Ashish M Gohil, Dhaval B Shah, Sanjay Desai. (2013). *Total Productive Maintenance (TPM) Implementation in a Machine Shop : A Case Study. Procedia Engineering 51. Chemical, Civil and Mechanical Engineering Track of 3 Nirma University International Conference. Page 592-599*

- Rivaldi, Ira Devi Sara, Mahdi Syukri (2019). Aplikasi Teknologi Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) Untuk Membangkitkan Energi Listrik dari Proses Produksi Semen. Proceeding Seminar Nasional Teknik Elektro (SNETE) Halaman 36-41
- Sigit Priyono, Machfud, Agus Maulana (2019). Penerapan Total Productive Maintenance (TPM) Pada Pabrik Gula Rafinasi di Indonesia (Studi Kasus: PT. XYZ). Jurnal Aplikasi Manajemen dan Bisnis Volume 5, No. 2, *School of Business, Bogor Agricultural University* Halaman 265-277
- Yoga Ian Arianto, Wahyono (2017). Sistem Pengoperasian dan Sistem Perawatan PT. PJB UP Brantas PLTA Sutami Malang. *EKSERGI Jurnal Teknik Energi Volume 13 No. 3* Halaman 74-77.