

PENERAPAN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) PEMBANGKIT LISTRIK WASTE HEAT RECOVERY POWER GENERATION (WHRPG)

Nugrahadhi¹, Farid Mujayyin² dan Luwi Adi³

*Email: ¹nugie1228@gmail.com, ²faridmujayyin@gmail.com, ³luwi@sidistributor.com

^{1,2,3}Akademi Komunitas Semen Indonesia, Jl. Veteran Gresik Jawa Timur, 61122

Abstrak

Teknologi *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) merupakan teknologi penghasil energi listrik dari gas panas buang operasional pabrik semen yang melepaskan CO₂ dikonversi menjadi energi listrik di Industri semen. Pemanfaatan listrik yang dihasilkan dapat digunakan sebagai suplai kebutuhan listrik pabrik seperti penerangan, peralatan dan berbagai fasilitas lainnya. Sejak tahun 2014-2017 hingga sekarang beroperasinya WHRPG di pabrik tuban setelah beberapa kali pengaturan gas panas pada sistem konversi hanya mampu menghasilkan kapasitas listrik 28,6 MW masih jauh dari target kapasitas yang direncanakan, hal ini memerlukan strategi operasi yang tepat agar mencapai kapasitas energi listrik 30,6 MW. Upaya peningkatan kapasitas produksi pembangkit energi listrik dari pemanfaatan gas panas buang dari segi aspek kesiapan kinerja mesin pada teknologi pembangkit listrik tenaga uap perlu dilakukan perencanaan operasional dan pemeliharaan menggunakan metode penerapan *Inspection*, *Small Repair*, *Medium Repair* dan *Overhaul* (ISMO) melalui tindakan *Total Produktive Maintenance* (TPM) perbaikan teknis pada peralatan pembangkit listrik WHRPG seperti kerusakan pada pompa dan setting gas panas pada boiler serta komponen lainnya dilakukan perbaikan agar mendapatkan performa yang lebih baik sehingga energi yang dihasilkan dapat mencapai 95% pada nilai performance ratio dari kapasitas awal yang telah ditentukan. Telah diketahui dan dapat diperbaiki nilai OEE (*Overall Effectiveness Equipment*) dengan penerapan *total productive maintenance* pada semua peralatan pembangkit listrik sehingga kombinasi antara produksi dan pemeliharaan secara bersama-sama dapat meningkatkan hasil produksi energi listrik 30.6 MW dapat terwujud

Kata Kunci : *Operasional, Maintenance, TPM, WHRPG*

Abstract

Waste Heat Recovery Power Generation (WHRPG) technology is a produces electrical energy technology that from the flue gas from the operation of a cement factory that releases CO₂ and converts it into electrical energy in the cement industry. Utilization of the generated electricity can be used as a supply of factory electricity needs such as lighting, equipment and various other facilities. Since 2014-2017 until now, the operation of the WHRPG in the Tuban plant after several times setting hot gas on the conversion system is only able to produce an electricity capacity of 28.6 MW which is still far from the planned capacity target, this requires the right operating strategy to reach a capacity of 30.6 MW of electrical energy. Efforts to increase the production capacity of electricity generation from the utilization of hot flue gas in terms of engine performance readiness aspects of steam power plant technology need to be carried out operational and maintenance planning using application method the inspection, small repair medium repair and overhaul (ISMO). Through total productive maintenance (TPM) technical improvements to WHRPG power plant equipment such as damage to pumps and hot gas settings in boilers and other components, repairs are made to get better performance so that the energy produced can reach 95% at the performance ratio value of capacity predetermined start. It is known and can be improved on the OEE (Overall Effectiveness Equipment) value by implementing total productive maintenance on all power generation equipment so that the combination and maintenance together can increase the production of 30.6 MW of electrical energy can be realized.

Key words: Operation, Maintenance, TPM, WHRPG

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 *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) capaian

memanfaatkan panas gas buang dari Pabrik Tuban 1, 2, 3,4 namun baru menghasilkan ±28.6 MW dan mengurangi emisi gas CO₂ sebesar 122,358 ton/tahun real prosentasenya 77.02 %, hal ini masih jauh dari target 30.6 MW. Berdasarkan penelitian sebelumnya PT. Semen Padang penerapan teknologi WHRPG hanya mencapai kapasitas 7,868 MG. Kapasitas disain pembangkit belum tercapai maksimal, baru mencapai 77 % dari kapasitas design. Secara studi kelayakan baik dari segi visi-misi tujuan berdirinya project WHRPG di pabrik tuban melakukan pengelolaan lingkungan yang lebih baik guna mengendalikan dampak lingkungan yang timbul, termasuk upaya

penurunan emisi CO₂ dan dampak pemanasan global, pengurangan pencemaran udara [1] [7].

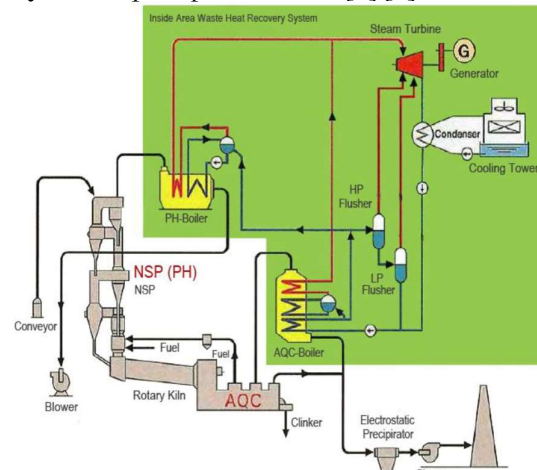
Kendala pada *performance* pembangkit WHRPG di komponen peralatan WHRPG seperti *PH boiler*, *AQC boiler*, *condensing steam turbine* dan *auxiliary*, pompa, steam turbine dan electric generator, memerlukan setting ulang, setting gas panas yang kurang tepat dalam aspek pengoperasian. Komponen equipment membutuhkan keandalan pada kesiapan kinerja operasi selalu menjadi faktor penentu dan juga hambatan pada project pembangkit listrik tenaga uap. Metode penyelesaian yang tepat untuk mencegah terjadinya kerugian dari project tersebut harus melakukan perbaikan pada aspek teknis disegala komponen, tentunya perlu dilakukan inspeksi dan perencanaan serta pengecekan yang akurat terhadap equipment yang dirasa kurang standart kemudian dilakukan dengan tindakan perbaikan dan bila diperlukan sampai dengan overhaul. Konsep yang tepat dalam penanganan problem pada *equipment* dengan *Inspection* dan *Repair*.

Peningkatan kapasitas produksi energi listrik yang dihasilkan dapat terwujud hanya dengan menjalankan operasional pemeliharaan secara bersamaan dengan *total productive maintenance* (TPM) pada aspek teknis menggunakan beberapa langkah standart operasional prosedur industri. Sedangkan langkah perbaikan pada komponen equipment pembangkit listrik dengan melalui pemeriksaan dan penerapan perencanaan operasional perawatan berdasarkan jadwal yang telah ditentukan sesuai dengan perencanaan perawatan yang telah ditentukan. Sehingga dapat ditentukan nilai OEE (*Overall Effectiveness Equipment*) dan dapat pula dinaikkan sehingga dapat diperoleh target kapasitas produksi listrik yang dihasilkan bisa mencapai 95% dengan dasar tersebut, penelitian dengan judul “Peningkatan Kapasitas Produksi Energi Listrik *Waste Heat Recovery Power Generation* (WHRPG) Pabrik Semen dengan Penerapan *Total Productive Maintenance* (TPM)” perlu diterapkan.

2. Tinjauan Pustaka

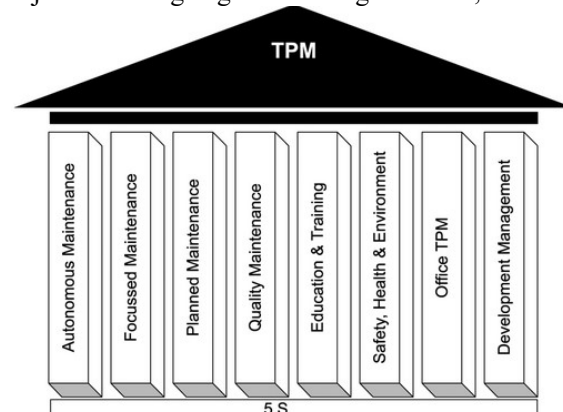
Proses sistem *Waste Heat Recovery Power Generation* pada (WHRPG) merupakan peralatan pembangkit listrik tenaga uap yang berasal dari gas panas buang yang dilepaskan dari proses produksi semen terdiri dari unit preheater dan kiln. Prinsip kerja sistem WHRPG beroperasi menggunakan siklus rankine, siklus daya uap yang menggunakan air sebagai fluida kerja dan menggunakan waste heat boiler untuk mendorong turbin uap yang dihubungkan dengan generator listrik. Massa uap yang dihasilkan dari suspension preheater waste

heat boiler digabung dengan massa uap dari cooler waste heat boiler menjadi massa uap total maka dapat dihasilkan daya mekanik turbin uap kemudian generator tersebut untuk menghasilkan daya listrik pada pabrik semen [3] [7].



Gambar 1. Proses sistem *Waste Heat Recovery Power Generation*

Total productive maintenance merupakan upaya meningkatkan produktifitas di area kerja pada proses maintenance equipment atau perusahaan. Jika equipment/mesin dapat digunakan dengan baik dan secara terus menerus maka hasil produksinya juga akan baik. Kegiatan dalam TPM diantaranya; implementasi 5R sebagai fondasi, sekeikutsertaan operator mesin dalam menjaga dan merawat mesin, pendidikan dan pelatihan, menjalankan preventive maintenance, memaksimalkan kinerja mesin, *development Maintenance* berfokus untuk mengendalikan maintenance cost mulai dari pembelian, menjamin keselamatan kerja para pegawai, memperpanjang umur mesin dan semua pihak mendukung operasional dan maintenance secara efektif dan efisien dalam segala hal pekerjaan di dalam area kerja. [2] [5] [6]. Adapun delapan pilar tahapan pelaksanaan *Total Productive Maintenance* dijelaskan dengan gambar sebagai berikut;



Gambar 2. Delapan pilar Total Productive Maintenance

Pengukuran/pemeriksaan kondisi peralatan waste heat recovery power generation dengan menghitung nilai OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) Tujuan OEE adalah sebagai berikut:

- Nilai OEE sebuah mesin dapat digunakan sebagai parameter kondisi mesin bermasalah
- Jika mesin bekerja sendiri pada proses, maka nilai OEE dapat mengidentifikasi mesin mana yang paling efektif dan mesin mana yang kurang optimal [7].

Availability ratio adalah tingkat kesiapan mesin beroperasi tanpa mengalami gangguan atau timbulnya kerusakan yang menghentikan proses produksi.

$$\text{Availability Ratio} = \frac{\text{operation time}}{\frac{\text{loading time}}{\text{loading time} - \text{down time}}} = \quad [1]$$

Performance ratio adalah tingkat efisiensi mesin dalam menghasilkan produk berdasarkan waktu operasi mesin.

$$\text{Performance Ratio} = \frac{\text{proceed amount} \times \text{cycle time}}{\text{operation time}} \quad [2]$$

Quality ratio adalah perbandingan tingkat rata-rata produksi yang dihasilkan mesin dengan kualitas baik dan memenuhi standar kualitas yang ditentukan dengan produk tidak standar.

$$\text{Quality Ratio} = \frac{\text{proceed amount} - \text{defect amounte}}{\text{proceed amount}} \quad [3]$$

Overall equipment effectiveness (OEE) adalah tingkat efektivitas penggunaan mesin selama mesin tersebut berada dalam keadaan beroperasi. $OEE = \text{availability ratio} \times \text{performance ratio} \times \text{quality ratio}$ [4]

3. Metode Penelitian

Dalam pengecekan equipment pada teknologi WHRPG ada beberapa alat ukur/alat test yang dapat mengecek untuk mengetahui kondisi peralatan *equipment*.

4. Hasil dan Pembahasan

a. Penerapan TPM

Pembangkit listrik merupakan suatu alat atau mesin yang digunakan untuk mendapatkan energi. Pembangkit listrik bisa mendapatkan energi dari berbagai macam sumber. Sumber ini yang nantinya dimanfaatkan untuk dikonversi menjadi energi listrik. Menggunakan prinsip hukum termodinamika teknik I yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan

akan tetapi dapat untuk dikonversi atau diubah bentuk energinya. Sedangkan komponen penting pada pembangkit listrik WHRPG yaitu steam generator biasa digunakan bahan bakar fosil maupun nuclear-fuel juga kombinasi kompleks antara econimizer, evaforator, superheater, prehaeter, dan air preheater. Boiler merupakan mesin pembakaran pada fluida cair yang digunakan untuk mendapatkan steam atau uap panas biasa diartikan sebagai alat pembangkit atau penghasil uap air atau steam. Peningkatan produksi listrik diperlukan penerapan total produktif maintenance pada mesin teknologi produksi listrik WHRPG secara sederhana dilakukan meliputi mengidentifikasi kondisi area yang terlibat dalam pelaksanaan TPM, mengembalikan mesin kepada kondisi operasi prima, menghitung Overall Effectiveness Equipment, menanggulangi atau memperbaiki major losses, dan memperkenalkan teknik proactive maintenance.



Gambar 3. Ruang setting equipment WHRPG

Upaya peningkatan kapasitas energi listrik dilakukan dengan melibatkan operator pada ruang workstation yang didalamnya terdapat main equipment depan layar monitor dikendalikan dengan PLC-DCS Allen Bradley Computer Dell Precision T7810 untuk mengatur komponen :

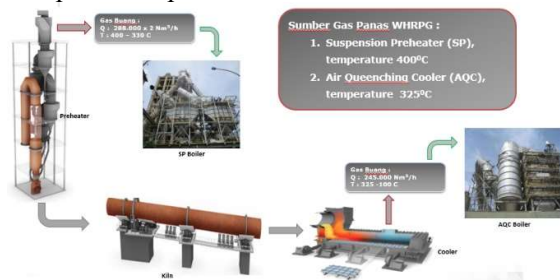
- 4 set Suspension Preheater Boiler
 - 4 set Air Queenching Cooler Boiler
 - 5 set ACC & Water Treatment
 - 1 set Steam Turbine & Electric Generator
 - 1 Set Cooling Tower
 - 1 Set Automation & Synchronizer
- Impact operasional kiln atas WHRPG berdampak positif seperti ;
- speed ID Fan preheater turun 2% (dust load turun karena sudah ditangkap di Ssuspension Preheater Boiler) penghematan biaya perline kiln
 - Coating di Induct 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 m³/jam (temperatur diserap Suspension Preheater boiler)

- Opacity di stack rawa mill dan cooler lebih baik (temperatur dan dust load lebih rendah)
- Dust tangkapan biler dapat masuk ke dust system eksisting

Ada beberapa dampak negatif yang harus diselesaikan yaitu ;

- pengaturan gas panas buang kiln untuk kebutuhan panas di raw mill, coal mill harus berbagi dengan WHRPG disaat Suspension Preheater produksi 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 Quenching Cooler Boiler saat produksi terak lebih dari 300 °C.

Mengidentifikasi dan melibatkan main equipment WHRPG yang terdiri dari; empat set suspension preheater boiler, empat set air quenching cooler boiler, lima set air cooled condenser ACC dan water treatment, satu set steam turbine dan electric generator, satu set cooling tower, satu set automation dan synchronizer semua komponen tersebut terpusat pada pengaturan PLC-DCS allen badrey terkontrol dengan teknologi komputer dell precision T7810 workstation.



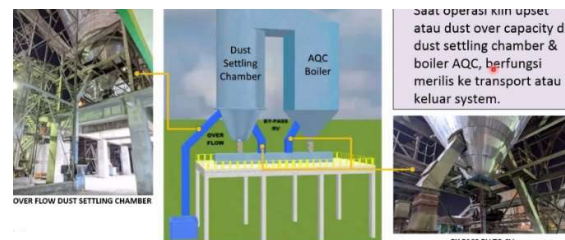
Gambar 4. Potensi gas buang pabrik semen

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 bisa 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. 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 emisi yang di CEMS secara berkala kepada KLHK, dan harus menyediakan batubara sebagai bahan bakar dengan baik.

Tahapan perbaikan pada suspension preheater memanfaatkan gas panas dari rotary kiln sebagai pemanas. proses pada suspension preheater adalah pemanasan awal, penguapan air, dan kalsinasi awal. Dimana, proses kalsinasi terjadi sekitar 80 %. Reaksi kalsinasi di suspension preheater mulai terjadi pada suhu 400 °C dan berlangsung secara cepat pada suhu 400 °C – 390 °C. Material akan terpisahkan dari gas panas dengan memanfaatkan gaya sentrifugal. Gaya ini menyebabkan material akan terlempar ke dinding cyclone karena material memiliki massa yang lebih besar dengan gas.

Maintenance dan Improvement pada WHRPG dengan meningkatkan kehandalan dust transport system boiler pada Air Quenching 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 5. Setting dust transport system AQC

Tahapan yang dilakukan TPM yaitu

1. Pertama dengan pelaksanaan Autonomus Maintenance yaitu melakukan pendeteksian secara dini pada setiap ketidaknormalan komponen sehingga kerusakan komponen WHRPG dapat dicegah. Berikut tabel hasil pemeriksaan/deteksi pada komponen WHRPG

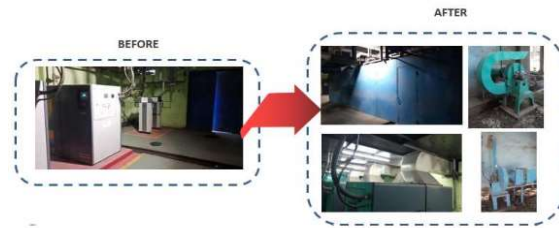
Table 1. Hasil pengecekan kondisi equipment WHRPG

No	Kegiatan Pengecekan komponen WHRPG	Analisa Hasil Monitoring
1	Menginspeksi secara <i>visual</i> menggunakan ceklis inspeksi	Terjadi kerusakan dan memerlukan perbaikan pada bolt/baut pengikat
2	Pengecekan pencahayaan	Tingkat pencahayaan 230 lux

No	Kegiatan Pengecekan komponen WHRPG	Analisa Hasil Monitoring
	menggunakan <i>lux meter</i>	dan sudah memenuhi standart tingkat pencahayaan
3	Pengecekan <i>run out</i> pada (<i>shaft-coupling</i>)	Poros driven masih dikatakan bagus karena masih di bawah toleransi yang diijinkan
4	Pengecekan kelurusan komponen mesin	Telah disejajarkan
5	Mendeteksi suara mesin menggunakan <i>sound level meter</i>	Tingkat kebisingan di antara ± 70 dB sampai ± 90 dB
6	Deteksi bunyi nois pada (<i>bearing, shaft, reducer</i>) menggunakan stetoskop	Getaran pada tataran normal Motor, reducer, balistic 7-8 A
7	Setting alignment sumbu poros coupling menggunakan AI 2000	Vertical -0,111 dan 0,048 Horizontal -0,057 dan -0,048
8	Pengecekan temperatur equipment WHRPG	Temperatur SP preheater 400-350/330 °C Temperatur AQC Cooler 325-100 °C
9	Mengecek kelembaban udara dan suhu di lingkungan WHRPG	suhu lingkungan sekitar WHRP 60-70 °C dan kelembaban kisaran 12% RH
10	Pengecekan getaran mesin menggunakan <i>vibration meter</i>	Frekuensi antara 750-1000 Hz

2. Kedua melaksanakan Focused Maintenance atau disebut juga fokus improvement yaitu melakukan perbaikan yang berkelanjutan walau sekecil apapun perbaikan tersebut ada beberapa perbaikan kecil diantaranya;

- mengganti bolt yang lepas dan rusak sehingga perlu replacement diakibatkan getaran yang tinggi disetiap komponen terutama pada komponen area turbin
- Setting dan penggantian motor penggerak
- Improvement compressor room



Gambar 6. Area Kompresor

3. Planned Maintenance melakukan kegiatan perawatan secara terencana dan membuat schedule maintenance menggunakan tabel excel terdiri dari list komponen dan waktu kapan harus diganti
4. Quality Maintenance membahas masalah peralatan yang mengalami gangguan pada saat produksi
5. Education dan training penyuluhan terhadap para karyawan sehingga produktivitas bisa maksimal.
6. Safety Health and Environment semua pekerja membangun lingkungan yang aman dan sehat target dari keselamatan kesehatan kerja dan lingkungan yaitu tempat kerja bebas dari kecelakaan
7. Office TPM membangun aktifitas kantor efisien, lingkungan kerja yang adaptif dan produktif serta administrasi informasi terkait kondisi WHRPG tersedia.



Gambar 7. Kantor TPM WHRPG

8. Development Management program organisasi mendorong manajer dan calon manajer agar mengembangkan keterampilan, pengetahuan, meningkatkan tanggungjawab para karyawan

Berikut diagram sebab akibat



Gambar 8. 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, Manajemen operasional pemeliharaan yang diterapkan, lingkungan harus memiliki kebersihan pada peralatan pabrik, menerapkan 5R di lokasi WHRPG, dan peralatan pendukung terkait investasi peralatan WHRPG.

b. Hasil Penerapan 5R

Tahapan terakhir adalah 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 5 R 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 data grafik capaiannya selama sebulan sekali sehingga lingkungan kerja menjadi menarik dan suasana akuntabel dan didalam ruang kantor terlihat transparan.



Gambar 9. Papan 5R

Pada area WHRPG di bagian workshop dibuat dengan bersih dan senyaman mungkin dan

menjamin keselamatan para pekerja mencegah terjadinya kecelakaan sehingga para pekerja menjadi optimal dalam pekerjaan pengecekan maupun pada saat perbaikan. Tampak terlihat setiap peralatan 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 10. Area Turbin WHRPG

Peralatan diterapkan sistem penataan label serta garis line seperti batas area mesin dan akses jalan operator/karyawan sehingga lay out ruang peralatan WHRPG semakin nyaman dan mudah untuk dikerjakan jika operator/karyawan sedang berada di ruang area turbin.

c. Perhitungan Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE)

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.

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

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

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.

Table 3. 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
November	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 % performansi 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.

Table 4. Perhitungan Quality ratio

Bulan	Deffect Amount	Proceed Amount	Quality ratio
Agustus	6	74	65,89
September	5	76	69,42
November	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 *adjustment* 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 (*Overall 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 meningkatkan 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 *performansi* 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.

5. Kesimpulan

Pengaruh besar yang diterapkan pola TPM (*Total Productive 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 Productive Maintenance* seperti kegiatan gema ditempat kerja para karyawan WHRPG telah meningkatkan nilai OEE sebesar 78,96 % di setiap ratio komponen. 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.

6. Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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*
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 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.