

PERFORMA MESIN PENGOLAH SAMPAH TPA MENJADI BAHAN BAKAR REFUSE DERIVED FUELS DENGAN METODE SIX SIGMA DMAIC

Farid Mujayyin¹, Dea Argita Gunarso²

Email : ¹faridmujayyin@gmail.com, ²deaargita690@mail.com

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

Abstrak

Teknologi pengolah sampah menjadi RDF (*Refuse Derived Fuels*) merupakan teknologi eksplorasi potensial material baru, alat tersebut diciptakan untuk memilah, memproses, dan mencacah tumpukan sampah TPA sampai menjadi alternatif bahan bakar. Terdapat mesin shredder pada bagian pengolah RDF yang sering mengalami kerusakan akibat sampah basah yang masuk pada mesin shredder sehingga proses produksi menurun. Sehingga dibutuhkan peningkatan kinerja mesin shredder untuk meningkatkan laju produksi bahan bakar RDF dengan menerapkan maintenance pada metode Six Sigma DMAIC yang meliputi *define* menentukan problem yang ada di pengolahan sampah, *measure* mengukur performa mesin melalui pengecekan standar operation, getaran, suara, kelurusan komponen dan menghitung nilai OEE (*overall Effectiveness Equipment*) rata-rata efektifitas mesin 77,34%. *Analyze* menentukan penyebab utama kerusakan pada mesin pengolah sampah dengan *diagram fishbone* yaitu pemilahan dan kondisi *shredder*, *Improve* menentukan perbaikan-perbaikan dan meningkatkan laju produksi RDF. *Control* memonitor proses manufaktur material sampah masuk ke mesin pengolah sampah pada *finishing* produk RDF berdiameter 25 mm. Peningkatkan performa pada laju proses produksi RDF dapat ditingkatkan nilai OEE pasca dilakukan perbaikan sebesar 77,34% sehingga ada kenaikan sebesar 62,34% dari nilai OEE sebelumnya.

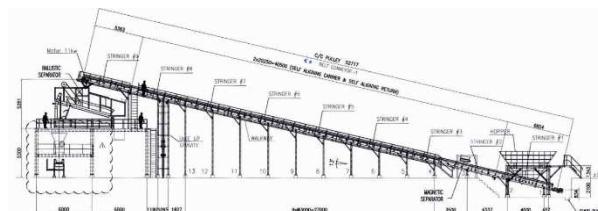
Kata Kunci : Performa, RDF, OEE

1. Pendahuluan

Mesin produksi *RDF* merupakan teknologi pengolah sampah menjadi bahan bakar alternatif yang sering digunakan untuk memudahkan pemindahan material sampah, memproses, memilah, dan mencacah sampah sampai pada butiran terkecil. Kesiapan operasi dan performa mesin pada pengolahan sampah basah yang menyebabkan mesin pengolah sampah sulit untuk merobek material sampah yang berada di TPA. Kendala kuantitas disebabkan mesin yang sering mati akibat *shredder* terlalu berat untuk mencacah sampah basah *load* sehingga terjadi penyumbatan pada mesin, dan terjadi arus pendek listrik sehingga hanya mampu beroperasi 7 jam dan mampu produksi 3 ton [9]. Pemeriksaan dan perbaikan kinerja mesin pengolah sampah merupakan tahapan yang tepat untuk meningkatkan performa pada laju produksi RDF. Pemeriksaan getaran, suara dan kelurusan komponen memerlukan peralatan ukur yang akurat bertujuan untuk mendekripsi kondisi mesin *shredder* terutama komponen *reducer*, *shaft*, *electrical motor* sedangkan langkah perbaikan laju produksi perlu dilakukan penerapan dengan metode *define*, *measure*, *analyze*, *improve*, dan *control* pada komponen mesin produksi RDF. Tujuannya menentukan komponen yang memerlukan perbaikan setelah dilakukan perbaikan dari hasil diagnostic kondisi kesiapan mesin dan hasil analisis DMAIC pada komponen mesin tersebut sehingga nilai standar OEE (*Overall Effectiveness Equipment*) dapat ditingkatkan..

2. Tinjauan Pustaka

Standar pengolahan sampah menjadi RDF yang berasal dari material sisa-sisa yang tidak berguna menjadi sampah kemudian disortir/pemisahan, penyaringan, penghancuran (*shredder*), pemisahan zat cair dan minyak, sampai menjadi bahan bakar alternatif yang dapat digunakan untuk energi pembakaran pada pabrik semen [1] [5].



Gambar 1. Mesin Produksi RDF

Terdapat bagian utama mesin pengolah sampah terdapat beberapa bagian diantaranya:

- Mesin shredder merupakan mesin penghancur material sampah berupa plastik, kayu, dan partikel lain yang terkandung dalam sampah.
- Belt Conveyor untuk memindahkan material sampah dari bawah diangkat ke atas hopper
- Ballistic separator merupakan komponen pemisah antara logam dan sampah biasa

Setiap mesin pasti memerlukan pemeliharaan secara optimal agar mesin produksi bisa berjalan baik. Perawatan terencana bertujuan untuk menjaga performa mesin agar dapat digunakan optimal berdasarkan effektivitasnya. Salah satu upaya dalam mengembalikan performa mesin dalam pemeliharaan perlu dilakukan perbaikan mesin sampai pada overhoul. Proses perbaikan mesin memerlukan beberapa tahapan pekerjaan

diantaranya inspeksi, pembongkaran, pengukuran, pemasangan, dan pengetesan mesin [8]. Sehingga performa mesin meningkat dan proses produksi dapat ditingkatkan. Tujuan utama pemeliharaan kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi. Selain menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.

Metode Six Sigma DMAIC sebuah metode peningkatan produksi dari meminimalisir penyebab kerusakan yang diketahui, efisiensi waktu dan biaya produksi, meningkatkan produktivitas, memenuhi kebutuhan pelanggan, mencapai utilitas mesin yang optimal, serta mendapatkan hasil yang lebih baik dari segi produksi maupun pelayanan [2] [3] [6].

Metode DMAIC yang merupakan singkatan dari *define, measure, analyze, improve* dan *control* dengan penjelasan sebagai berikut;

- Define* tahap ini dilakukan untuk menentukan hal-hal kritis pada peralatan produksi
- Measure* merupakan langkah kedua mengukur yang bertujuan mengevaluasi dan memahami kondisi proses produksi.
- Analyze* yaitu tahap dilakukannya penentuan sebab akibat permasalahan biasanya menggunakan *diagram fishbone*.
- Improve* pada tahap ini dirancang usulan-usulan perbaikan untuk mengurangi kerusakan yang terjadi. Pada tahap ini pula dilakukan implementasi usulan-usulan yang telah dirancang.
- Control* tahap ini dilakukan pengendalian proses dan melakukan perbaikan, menghitung *sigma quality level* dan membandingkan tingkat kualitas sebelum dan setelah perbaikan dengan melakukan uji hipotesis peningkatan pasca dilakukan perbaikan.

Pengukuran/pemeriksaan kondisi peralatan pengolah sampah 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.

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

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.

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

Overall equipment effectiveness (OEE) adalah tingkat efektivitas penggunaan mesin selama mesin tersebut berada dalam keadaan beroperasi.

$$\text{OEE} = \text{availability ratio} \times \text{performance ratio} \times \text{quality ratio} \quad [4]$$

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain kualitatif dan kuantitatif karena data penelitian ini bersifat penjelasan penerapan. Penelitian kualitatif merupakan tergolong deskriptif dan cenderung menggunakan analisis sesuai fakta dilapangan. Berjalannya penelitian menggunakan pendekatan eksperimen disertai dengan pengecekan mesin produksi yang berada di TPA.

Teknik pengambilan data dilakukan dengan pengecekan teknologi pengolah sampah ada beberapa alat ukur/ alat test yang dapat mengecek untuk mengetahui kondisi peralatan *equipment* sebagai berikut dalam tabel 1.

Tabel 1. Tahapan pengecekan mesin RDF

Jenis Tahapan Inspeksi	Alat yang digunakan
Mengecek getaran mesin	Vibration meter
Mengecek pencahayaan area mesin RDF	Lux meter
Mengecek kelurusan, poros, coupling, run out mesin, atau pemeriksaan kesabaran putaran mesin	Dial indicator
Mendeteksi kebisingan suara pada mesin	Sound level meter
Memeriksa suara mesin dan mendeteksi bunyi yang ada di bagian mesin seperti (bearing, shaft, reducer) sehingga mekanik bisa mengetahui sangat jelas dari detak kejut di telinga	Stetoskop Analyzer Frekuensi 10 HZ-10KHZ
Mengecek kondisi poros antara sumbu utama motor listrik dengan poros yang diputar dan untuk mendapatkan kesentrisan sehingga tidak menimbulkan gesekan getaran dan faktor-faktor lainnya	Shaft alignment tool

Jenis Tahapan Inspeksi	Alat yang digunakan
Mengecek dimensi ukuran RDF	Vernier caliper dan micrometer
Mengecek kondisi mesin secara visual dengan mendokumentasi	Kamera Handphone dan Memori Card

Sedangkan Penerapan Six Sigma DMAIC dilakukan melalui;

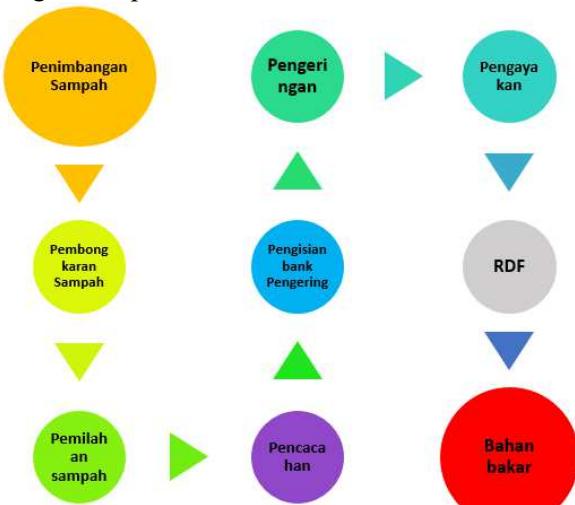
- Hasil kajian lapangan meliputi proses produksi RDF pemrosesan sampah diolah menjadi bahan bakar alternatif dan dibandingkan dengan standar proses yang ada, sampai pada inspeksi mesin
- Melakukan pengukuran atau pemeriksaan performa mesin menggunakan alat: *vibration meter*, jangka sorong, mikrometer, *stetoskop diagnostic* mesin, dan dial indicator untuk mengecek kelurusan *shaft* mesin
- Menentukan akar permasalahan kerusakan pada mesin pengolah sampah menjadi bahan bakar dengan diagram *fishbone* (sebab-akibat),
- Mengontrol atau memonitor proses pengolahan sampah sehingga dapat teridentifikasi pada pemeriksaan kesesuaian hasil bahan bakar yang siap digunakan.

Tahapan akhir dalam penyelesaian penelitian ini yaitu menghitung nilai OEE pada peralatan Teknologi pengolah sampah pada produksi RDF menggunakan rumus matematis pada pembahasan sebelumnya.

4. Hasil dan Pembahasan

a. Penerapan Six Sigma DMAIC

Performa mesin produksi RDF diperlukan Six Sigma DMAIC pada mesin teknologi pengolah sampah TPA menjadi bahan bakar RDF (*Refuse Derived Fuels*) meliputi *define* menetapkan proses produksi sampah menjadi bahan bakar dengan standar tahapan proses produksi sesuai dengan dengan tahapan berikut.



Gambar 2. Alur proses produksi RDF

Proses produksi RDF yang telah ditentukan melalui tahapan; penimbangan sampah, pembongkaran sampah, pemilahan sampah, pencacahan, pengisian bank pengering, pengeringan, pengayakan, menjadi RDF, kemudian untuk bahan bakar pabrik semen.

Sedangkan menentukan problem yang ada di pengolahan sampah di TPA ngipik berdasarkan identifikasi di lapangan yaitu pada mesin *shredder* di komponen *reducer*, *shaft*, *bearing* dan *electrical motor* sering mengalami kerusakan dikarenakan mencacah sampah dalam keadaan basah berdasarkan hasil wawancara di lapangan para petugas mengeluh saat musim hujan proses produksi RDF menurun.

Critical part pada bagian kritis yang mengalami kerusakan melalui identifikasi dan diagnosa kerusakan dengan cara *measure* yaitu mengukur performa mesin melalui beberapa jenis pengecekan/pemeriksaan komponen mesin/*sparepart* terlihat pada tabel hasil pemeriksaan sebagai berikut;

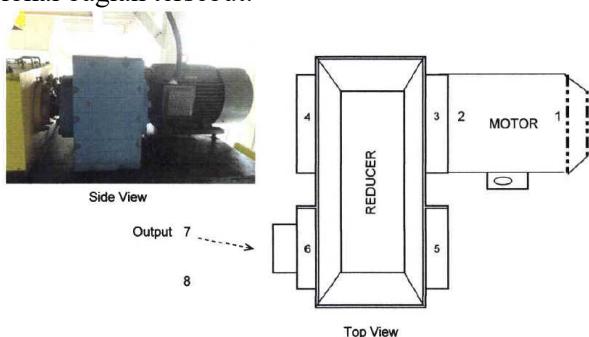
Tabel 2. Hasil pengecekan kondisi mesin RDF

No	Kegiatan Pengecekan Mesin RDF	Analisa Hasil Monitoring
1	Menginspeksi secara <i>visual</i> menggunakan ceklis inspeksi	Terjadi kerusakan dan memerlukan perbaikan pada pisau shredder
2	Pengecekan pencahayaan menggunakan <i>lux meter</i>	Tingkat pencahayaan 230 lux dan sudah memenuhi standar 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</i> , <i>shaft</i> , <i>reducer</i>) menggunakan stetoskop	Getaran pada tataran normal Motor, reducer, ballistic 7-8 A
7	Setting alignment sumbu poros coupling menggunakan Al 2000	Vertical -0,111 dan 0,048 Horizontal -0,057 dan -0,048
8	Pengecekan ukuran RDF	Ukuran RDF panjang 25,05 mm x lebar 12,05 mm
9	Mengecek kelembaban udara	suhu lingkungan sekitar TPA 30-35 °C

No	Kegiatan Pengecekan Mesin RDF	Analisa Hasil Monitoring
	dan suhu di lingkungan TPA	dan kelembaban kisaran 66% RH
10	Pengecekan getaran mesin menggunakan <i>vibration meter</i>	Frekuensi antara 350-375 Hz

Problem yang terjadi di setiap tahapan berdasarkan hasil pemeriksaan menampilkan secara umum problem ditampilkan dalam diagram paretto banyaknya masalah pada proses produksi RDF dari beberapa tahapan yang diidentifikasi. Pengukuran getaran yang dilakukan secara rutin dan berkala bertujuan untuk memperoleh atau mengetahui kerusakan yang terjadi pada suatu mesin secara dini sehingga dengan data informasi tersebut kita dapat membuat jadwal perbaikan atau *service* dari suatu mesin.

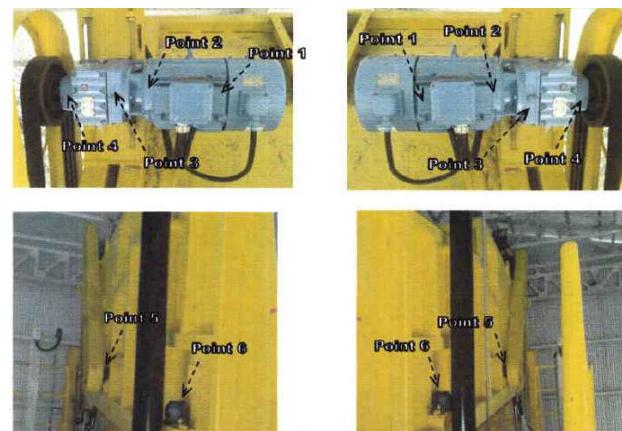
Melakukan pengukuran getaran sebelum perbaikan sehingga dapat memberikan informasi Adanya getaran namun pada tataran normal motor, reducer, balistic 7-8 A pada komponen mesin mana yang membutuhkan perbaikan dan mana yang tidak. Pengukuran yang dilakukan setelah perbaikan sehingga dapat memberikan informasi pada kita bahwa masalah yang terjadi pada mesin tersebut telah selesai, hal tersebut sekaligus juga memberikan informasi pada kita bahwa pekerjaan perbaikan yang kita lakukan berhasil dengan baik. Sensor getaran dipasang pada bagian-bagian mesin yang cukup kaku untuk menghindari efek resonansi lokal bagian tersebut.



Gambar 3. Sketch pengukuran vibrasi reducer shredder

Tingkat getaran adalah panduan yang berguna untuk kondisi alat berat. Keseimbangan yang buruk, ketidaksejajaran dan kelonggaran struktur akan menyebabkan tingkat getaran meningkat, itu adalah tanda pasti bahwa pemeliharaan diperlukan. Pada peralatan industri biasanya memiliki Rentang frekuensi 10 Hz - 1 kHz, namun hasil pengecekan pada mesin motor listrik sebagai penggerak shredder dikatakan normal hanya terdapat antara frekuensi 15 Hz – 60 Hz. Hasil tiap bearing yang ditandai point angka 1-8 pada posisi vertikal rata-

rata 0,7 Hz, horizontal rata-rata 1,4 Hz, dan axial rata-rata 0,8 Hz. Setelah dianalisa dengan standar vibrasi penggerak shredder dinyatakan vibrasi good berkisar batas vibrasi klas III 0,1 – 1,8. Hz. Sedangkan pada motor reducer ballistic secara vertikal 3,1 Hz, horizontal 3,4 Hz, Axial 4,6 Hz. Hasil cek vibrasi pada reducer ballistic separator secara vertikal 2,7 Hz, horizontal 6,6 Hz, dan posisi axial 3,8 Hz.



Gambar 4. Pengukuran vibrasi reducer ballistic separator

Hasil dari inspector dan praktisi setelah dilakukan pengecekan dengan vibration meter pada reducer ballistic separator yaitu vibrasi dalam batas toleransi dengan batas 2,8 – 7,0 Acceptable atau dapat diterima namun perlu pengecekan setting secara berkala pada komponen motor penggerak reducer ballistic separator.

Sedangkan pengukuran kesejajaran shaft-coupling dilakukan agar mensejajarkan biasa dikenal sebutan setting alignment. Faktor beban yang diderita mesin cukup bertambah, sehingga kerusakan premature pada bearing, poros, seal, kopling. Temperatur tinggi pada casing, bearing atau minyak lubrikasi., kebocoran pada sealnya bearing, mechanical seal. kopling menjadi panas dan cepat rusak. baut kopling mudah kendor, vibrasi tinggi kearah radial dan axial. Teknologi produksi RDF benar-benar mempunyai putaran torsi yang stabil, efektif, maksimal setelah dilakukan pemasangan peralatan pabrik RDF setelah dilakukan perbaikan sehingga dalam pengukuran alignment ini dapat terjamin hasil keakuratan sensor deteksi pada poros dan coupling sambungan motor penggerak dan reducer sehingga menjamin mempunyai kehandalan dalam putaran mesin.

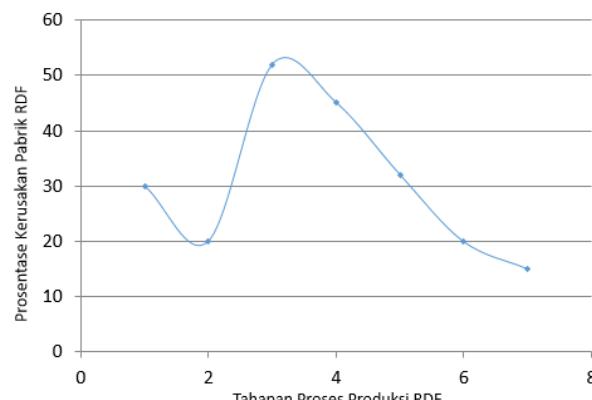
Peralatan *alignment tool* sebagai pendekripsi dengan *laser alignment* adalah proses mensimetriskan objek (poros) dengan menggunakan sensor infrared (inframerah). Dimana objek (poros) diukur dengan sensor sinar laser infra merah untuk menguji tingkat simetris

serta berlangsungnya proses mensimetriskan objek (poros). Keuntungan dari pengecekan allignment tool dari sisi tingkat pemeliharaan seal, memperpanjang availability suatu mesin sehingga kehandalan suatu alat dapat meningkat.

Terdapat tiga range yang berbeda pada skala pengukurannya, yakni A, B, dan C. Range yang digunakan nantinya berpengaruh pada pengukuran cahaya yang akan dihasilkan.

Hasil pengukuran pada shaft-coupling motor dan reducer shredder posisi vertikal -0,111 mm dan 0,048 mm sedangkan posisi horizontal -0,057 mm dan -0,048 mm masih dikatakan putaran normal.

Analisa hasil pemeriksaan secara visual melalui ceklist inspeksi dengan perasa, dengan suara, dengan penglihatan mata, dan analisa image pada kamera hanphone di layar menunjukkan teridentifikasi problem pada jumlah responden terhadap kerusakan atau kesalahan mesin RDF seperti tampak pada grafik di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Prosentase problem tahapan produksi RDF

Grafik prosentase problem pada tahapan produksi RDF di atas menunjukkan bahwa masalah dominan yang didapatkan yaitu meliputi problem pada tahapan pemilahan sampah (52%), Pencacahan (45%), dan Pengisian bang pengering (32%). Bedasarkan analisa di lapangan kondisi hasil proses produksi RDF di musim penghujan mesin sering mengalami trouble. Sesuai hasil musyawarah dan meeting para teknisi dan pegawai pabrik RDF dijelaskan penyebab utama dari kerusakan yang terjadi pada mesin shredder dikarenakan material sampah yang dihancurkan basah seperti tanah lumpur yang di caca sehingga melilit pada pisau. Maka langkah-langkah konkrit pada penelitian dan perbaikan mesin harus betul-betul di identifikasi secara menyeluruh pada setiap komponen peralatan produksi RDF. RDF yang basah tidak semua keluar pada lubang outcome mesin shredder dan seperti tidak lancar pada saat proses finishingnya hal itu tampak pada gambar di

bawah ini. RDF yang baik mestinya ia kering dan tidak basah dan jumlahnya pun bisa banyak.

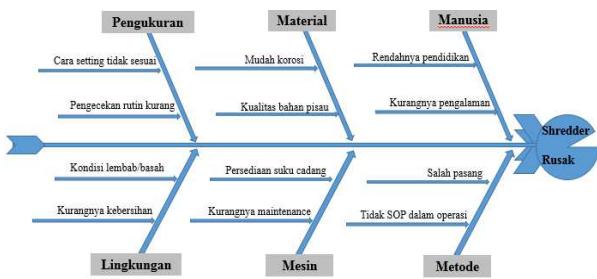


Gambar 6. Hasil cacahan sampah TPA basah

Material sampah yang memasuki hopper mesin shredder sampah basah mesin akan mengalami beban yang sangat berat pada proses penghancuran sampah TPA material sampah terjadi lilitan sampah yang menyentuh pada pisau dan material tidak lepas pada pisau shredder sehingga ballistic tidak berfungsi dengan baik. Akibat adanya daya yang sangat besar agar mesin tetap berjalan optimal dan maka dilakukan perbaikan dan jika dibutuhkan melakukan penggantian pada roda gigi miring, gaya kontak roda gigi yang terus-menerus menjadi faktor roda gigi mengalami keausan, dan akibat beban kejut kegagalan permukaan roda gigi, gigi patah dan sebagainya.

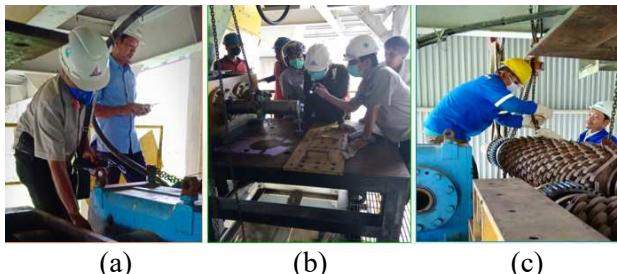
Sedangkan pisau shredder mengalami kerusakan akibat gesekan yang tinggi sehingga crack atau retak pada bagian ujung solusi dan langkah cepat dilakukan perbaikan dengan proses pembubutan ulang pada pisau shredder. Tujuan dilakukan pembubutan pada bagian poros pisau shredder untuk mengembalikan dimensi pada pisau shredder sehingga pencacahan sampah dapat mencapai hasil yang optimal. Posisikan range pengukuran pada skala tertinggi dengan cara menggeser switch range ke bagian paling kanan (x100).-Hidupkan lux meter dengan menggeser tombol "off/on" kearah On.-Cek daya baterai dengan memastikan tidak ada tulisan "lobat" pada layar.-Atur range pengukuran sesuai intensitas cahaya.

Sedangkan menghitung nilai OEE (*Overall Effectiveness Equipment*) awal rata-rata efektifitas mesin sebesar 26,22%. Hasil *Analyze* menentukan penyebab utama kerusakan dari analisis sebab-akibat kegagalan pada mesin pengolah sampah ditampilkan dengan *diagram fishbone*,



Gambar 7. Diagram Fishbone

Berdasarkan uraian diagram sebab akibat adanya problem pada pabrik pengolah sampah TPA menjadi RDF di atas sebab-akibat dari kegagalan mesin pengolah sampah TPA menjadi RDF disebabkan beberapa faktor diantaranya; pertama faktor manusia karena kurangnya pendidikan dan kurangnya pengalaman, yang kedua faktor material bahan yang mudah kena korosi, kualitas bahan sedang, faktor ketiga *measurement* disebabkan pengukuran yang tidak standar dan kurang tersedianya alat ukur untuk pemeriksaan. Sedangkan faktor ke empat yaitu metode disebabkan saat mengoperasikan tidak SOP, kurangnya maintenance dan salah pasang saat perbaikan mesin. Tampak terlihat upaya untuk meningkatkan performa melalui tahapan inspeksi, pengukuran dan proses perbaikan atau rekondisi dilakukan pada komponen mesin pada mesin shredder seperti pada gambar 5.



Gambar 8. Tahapan perbaikan (a) Inspeksi komponen mesin menggunakan tool dan ceklist inspeksi (b) Pemeriksaan Shaft Reducer/Gearbox dengan dial gauge (c) Pemasangan hasil perbaikan Pisau pencacah sampah pada Shredder machine

Beberapa kendala atau kerusakan mesin secara teknis menyebabkan kegagalan dalam berproduksi perlunya dilakukan rekondisi langkah-langkah perbaikan secara cepat agar mesin dapat berjalan optimal. Faktor ke lima mesin disebabkan kurang taunya refferensi sparepart /suku cadang yang sulit ditemukan, dan pemakain umur mesin. faktor yang ke enam yang diperkirakan sulit dan membutuhkan ekstra untuk perbaikan yaitu disebabkan lingkungan sampah TPA yang basah dan lembab sehingga sampah jenis apapun tercampur jadi satu itulah yang menjadi paling dominan kegagalan biasanya karena cuaca dilingkungan diguyur hujan sehingga menjadi lembab, dan basah.

Improve bertujuan untuk menentukan perbaikan-perbaikan dan meningkatkan laju produksi RDF sebagai berikut.

Tabel 3. Usulan perbaikan

Penyebab Masalah	Usulan Perbaikan
Kurangnya pendidikan dan pengalaman	Mengadakan learning, course, training untuk para pegawai, jika diperlukan disekolahkan
Material bahan yang mudah korosi dan kualitas bahan sedang	Diperlukan setiap 5 -6 bulan sekali diadakan painting atau coating, dan segera melakukan teknik pelapisan
Tidak ada pengukuran atau pemeriksaan secara berkala berdasarkan jam operasi	Disediakan alat ukur untuk memeriksa dan memonitor pada critical part
Saat dioperasikan operator tidak mematuhi SOP, kurangnya maintenance dan salah setting mesin	SOP di sosialisasikan melalui media online dan cetak dan di tempel,
Kurangnya refferensi / sparepart suku cadang yang sulit ditemukan,	Website link and contact ori spare parts when ordering online offline to partners
Pemakaian jam operasi dan penjadwalan secara teratur	Membuat schedule operasi RDF
Lingkungan yang lembab sehingga material sampah namun diberi atap untuk menampung sampah yang akan diproses daur ulang	Memerlukan ruang yang berongga udara terbuka namun diberi atap untuk menampung sampah yang akan diproses daur ulang

Control yaitu kegiatan memonitor, mendokumentasikan, pengendalian dan dilakukan evaluasi agar tetap menjaga perbaikan kualitas. Sehingga evaluasi tersebut dapat merubah kepada lebih baik dari yang sebelumnya proses manufaktur material sampah masuk ke mesin pengolah sampai pada *finishing* produk RDF berdiameter 25 mm.



Gambar 9. (a) Pemeriksaan pada hasil produksi RDF secara visual (b) Quality control dengan mengecek dimensi RDF

Hasil analisa OEE pada produksi pengolahan sampah menjadi bahan bakar RDF. Setelah seluruh data jam kerja produksi, jumlah produksi, jumlah produk cacat dan waktu downtime mesin produksi

RDF telah dicatat, maka dapat dihitung tingkat efektifitasnya. Untuk menghitung tingkat efektifitas, diperlukan nilai availability, performance dan quality.

b. Perhitungan Nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Perhitungan nilai OEE di mulai dari menghitung nilai prosentase Availability ratio, kemudian menghitung nilai Performance ratio, dan menghitung prosentase quality ratio. Diperoleh rata-rata jam kerja setiap 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 RDF dalam satu kemasan membutuhkan waktu 34 menit dan didapatkan data dari lapangan bahwa jumlah produksi menghasilkan RDF dari bulan Agustus 2019-Juli 2020 dan adapula data kegagalan dalam produksi RDF atau defect sebagai berikut.

Tabel 4. Jumlah produksi dan kegagalan dalam berproduksi RDF bulan Agustus 2019-Juli 2020

Bulan	Jumlah Produksi (ton)	Defect Amount (ton)
Agustus	74	6
September	76	2
Okttober	79	3
Nopember	80	0
Desember	70	7
Januari	73	6
Februari	76	7
Maret	79	0
April	71	5
Mei	82	0
Juni	78	8
Juli	75	4

Produksi RDF tidak diperlukan target waktu dan jumlah kapasitas produksi, tetapi mesin pengolah sampah harus tetap beroperasi dan dibutuhkan manajemen pemeliharaan yang baik sehingga dapat mengurangi down time dan mereduksi sampah sebanyak-banyaknya. Kegagalan produksi biasanya disebabkan material yang tersangkut pada pisau shredder sehingga menjadi berhenti sesaat, saat mesin beroperasi. Hasil perhitungan availability mesin pengolah sampah menjadi RDF dengan menggunakan perhitungan rumus (1) dihasilkan sebagai berikut pada tabel 4.

Berdasarkan perhitungan dan pencatatan kemampuan mesin memproduksi RDF dari januari-desember rata-rata mesin dapat beroperasi tanpa gangguan sebesar 85,30 %.

Perhitungan availability dibulan agustus 2019 sebagai berikut ;

$$\text{Availability ratio} = \frac{\text{operating time}}{\text{loading time}} \\ = \frac{9900}{12000} \\ = 82,50 \%$$

Berdasarkan perhitungan availability pada bulan agustus 2019 prosentasi ketersediaan mesin produksi RDF sebesar 82,50 % tingkat rasio ketersediaan waktunya pada mesin produksi RDF.

Perhitungan di atas jika diimplementasikan pada bulan berikutnya dengan perhitungan yang sama akan menghasilkan nilai rasio availability seperti ditampilkan pada tabel 5 dibawah ini

Tabel 5. Perhitungan availability ratio bulan Agustus 2019 - Juli 2020

Bulan	Loading Time (menit)	Total Unplanned Downtime (menit)	Operating Time (menit)	Availability Rate (%)
Agustus	12000	2100	9900	82,50
September	12000	1500	10500	87,50
Okttober	12000	1700	10300	85,83
Nopember	12000	1400	10600	88,33
Desember	12000	2000	10000	83,33
Januari	12000	1600	10400	86,67
Februari	12000	1300	10700	89,17
Maret	12000	2075	9925	82,71
April	12000	1800	10200	85,00
Mei	12000	1900	10100	84,17
Juni	12000	1750	10250	85,42
Juli	12000	2050	9950	82,92
Rata-rata				85,30

Pada perhitungan availability ratio di bulan oktober dan februari mengalami kenaikan senilai 88,33 % dan 89 %. Sedangkan rata-rata keseluruhan dalam satu tahun availability ratio 85,30%. Sedangkan perhitungan *Performance Ratio* jika diimplementasikan dengan rumus sebagai berikut;

Performance ratio

$$= \frac{\text{proceed amount} \times \text{cycle time}}{\text{operation time}} \\ = \frac{74 \times 35}{9900} \\ = 26,16 \%$$

Berdasarkan perhitungan performance ratio mesin produksi RDF di bulan agustus sebesar 26,16 % jika dihitung semua setipa bulan maka akan tampak hasil dari performance mesin produksi RDF tampak pada tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Perhitungan performance ratio

Bulan	Operating Time (menit)	Proceed Amount	Ideal Cycle Time	Performance Ratio
Agustus	9900	74	35	26,16
September	10500	76	35	25,33
Okttober	10300	79	35	26,84
Nopember	10600	80	35	26,42
Desember	10000	70	35	24,50
Januari	10400	73	35	24,57
Februari	10700	76	35	24,86
Maret	9925	79	35	27,86
April	10200	71	35	24,36
Mei	10100	82	35	28,42
Juni	10250	78	35	26,63
Juli	9950	75	35	26,38
Rata-rata				26,02 %

Nilai prosentase tertinggi pada bulan maret yang mengalami peningkatan yaitui 27,86 % performa rata-rata nilai performance mesin produksi RDF sebesar 26,02 % sangat rendah sebab mesin produksi mengalami kesulitan pencacahan dibulan musim penghujan disebabkan sampah dan material lainnya tergolong tidak bisa dilakukan pencacahan/penghancuran. Untuk menghindari kerusakan mesin dan biaya maintenance mahal sehingga proses produksi dihentikan dan dilakukan pembersihan dan perbaikan.

Nilai *quality ratio* mendapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Quality ratio} &= \frac{\text{proceed amount} \times \text{defect amount}}{\text{proceed amount}} \\
 &= \frac{74 \times 6}{74} \\
 &= 65,89 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan quality ce ratio mesin produksi RDF di bulan agustus sebesar 65,89 % jika dihitung semua setipa bulan maka akan tampak hasil dari quality mesin produksi RDF tampak pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Perhitungan Quality ratio

Bulan	Defect Amount	Proceed Amount	Quality ratio
Agustus	6	74	65,89
September	2	76	73,37
Okttober	3	79	75,20
Nopember	0	80	80,00
Desember	7	70	60,00
Januari	6	73	64,78
Februari	7	76	66,79

Bulan	Defect Amount	Proceed Amount	Quality ratio
Maret	0	79	79,00
April	5	71	63,96
Mei	0	82	82,00
Juni	8	78	67,74
Juli	4	75	69,67
Rata-rata <i>Quality ratio</i>			70,70

Nilai OEE pada mesin produksi RDF dapat diperhitungkan dengan rumus ketiga variabel di atas yaitu availability, performance, dan quality. Sebagaimana hasil perhitungan sebagai berikut;

$$\begin{aligned}
 \text{OEE} &= \text{Availability ratio} \times \text{Performance ratio} \times \\
 &\quad \text{Quality Ratio} \\
 &= 85,30 \times 26,03 \times 70,70 \\
 &= 15,69 \%
 \end{aligned}$$

Perbandingan nilai rasio *availability*, *performance*, *quality*, dan OEE Mesin produksi RDF dengan standar JPIM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) dapat dilihat pada Tabel 5. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa nilai OEE jauh di bawah standar JPIM. Rendahnya nilai OEE mesin produksi RDF dipengaruhi oleh nilai *performance ratio* yang rendah. Analisis penyebab rendahnya nilai *performance ratio* mesin RDF disebabkan karena faktor perencanaan sarana-prasarana pabrik bahan bakar alternatif yang terggolong relatif kurang memadai sehingga sarana peralatan tidak bisa mendukung dalam proses produksi ataupun maintenance, terutama dalam pengeringan bang sampah sedikit dan sampah yang datang adri pedesaan pasti tercampur aduk antara pasir, sisik makanan, tumbuhan, dedaunan organik lainnya sehingga sulit melakukan pencacahan sesuai *ideal cycle time*.

Target nilai OEE mesin produksi RDF pasca dilakukan perbaikan dan maintenance semua aspek teknis dan perencanaan produksi akan meningkatkan memperbaiki nilai OEE dengan mengelola improvement pada kerusakan mesin, setting mesin, small stop, slow running, defect start up dan defect produksi. Sedangkan *performance ratio* ditetapkan sebesar 76,03%, sehingga diperoleh standar baru nilai OEE sebesar 45,85%.

Tabel 8. Perhitungan performance sesudah perbaikan mesin produksi RDF

Bulan	Operating Time (menit)	Proceed Amount	Ideal Cycle Time	Performance Ratio
Agustus	9900	80	35	28,28
September	10500	100	35	33,33
Nopember	10300	110	35	37,38
Okttober	10600	150	35	49,53
Desember	10000	200	35	70,00
Januari	10400	400	35	134,62

Februari	10699	442	35	144,59
Maret	9925	350	35	123,43
April	10200	160	35	54,90
Mei	10100	204	35	70,69
Juni	10250	320	35	109,27
Juli	9950	160	35	56,28
Rata-rata performance ratio pasca perbaikan				76,03

Poin pentingnya bagaimana mesin RDF agar bisa berjalan optimal maka diupayakan agar performance bisa tinggi salah satunya rekondisi mesin seperti layaknya mesin baru. Pelaksanaan maintenance dijalankan secara konsisten dan efektif sehingga akan terdeteksi permasalahan mesin sebelum mesin produksi RDF tersebut dioperasikan. Besar kerugian yang mempengaruhi performance yaitu error sesaat dan kecepatan rendah.

Tabel 9. Nilai OEE baru pasca dilakukan repair dan perbaikan proses produksi RDF

Parameter	Prosentase Hasil Perhitungan
Availability ratio	85,30
Performance ratio	76,03
Quality ratio	70,70
Total Nilai OEE	77,34

Total nilai OEE mengalami kenaikan sebesar 77,34 % dari total penambahan dimasing-masing ratio. Sehingga peningkatan performa mesin produksi RDF pada pengolah sampah di TPA dapat ditingkatkan produktivitasnya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, di peroleh beberapa kesimpulan sebagai berikut;

1. Mesin produksi RDF mendapatkan kenaikan pasca dilakukan perbaikan dan rekondisi nilai OEE sebesar 77,34 %
2. Penyebab rendahnya nilai OEE mesin produksi RDF adalah rendahnya nilai performance ratio. akar masalah yang menyebabkan rendahnya nilai performance ratio adalah material sampah yang masuk pada mesin shredder pencacah sampah dalam kondisi lembab/basah karena cuaca hujan dan penampungan bang sampah terbatas hal itu yang menghambat proses produksi tidak berjalan optimal.
3. Rendahnya nilai OEE pabrik pengolah sampah TPA memerlukan revitalisasi tujuan pencacahan fokus pada material sampah yang kering, plastik, dan limbah pabrik
4. Agar produksi RDF dan teknologi pendukung material baru terus berjalan dan menghasilkan

bahan bakar berkualitas tinggi diperlukan *preventive maintenance*.

6. Daftar Pustaka

- [1] Eyad Batarseh, M. A. (2018). Analysis of Refuse Derived Fuel Utilization from Aqaba Municipal Solid Waste. *Jordan Journal of Civil Engineering*, Volume 12, No. 2 page 245-253.
- [2] Gupta, N. (2013). An Application of DMAIC Methodology for Increasing the Yarn Quality in Textile Industry. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 50-65.
- [3] Hanky Fransiscus, C. P. (2014). Implementasi Metode Six Sigma DMAIC untuk Mengurangi Paint Bucket Cacat di PT X. *Journal Rekayasa Sistem Industri* Vol.3, No.2 unpar, 53-64.
- [4] Haryanto, M. T. (2014). Evaluasi dan Optimalisasi Sistem Manajemen Teknik Operasional Pengelolaan Sampah (studi kasus: kec ungaran barat, kec ungaran timur). *Repository Universitas Diponegoro*, 54-61.
- [5] Hasan, R. (2018). Guidelines on Usage of Refuse Derived Fuel in Various Industries. India: Ministry of Housing and Urban Affairs (MoHUA).
- [6] Hassan, M. K. (2013). Applying Lean Six Sigma for Waste Reduction in a Manufacturing Environment. *American Journal of Industrial Engineering*, Vol. 1, No. 2 page 28-35.
- [7] Meriastuti Ginting, I. M. (2012). Usulan Peningkatan Performa Mesin K413 Berdasarkan Analisis Nilai Overall Equipment Effectiveness pada Divisi Knitting di PT Mulia Knitting factory. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Kristen Krida Wacana*, Vol. 01 No.04, hal 369-381.
- [8] Purwono Hendro, D. T. (2016). Pengujian dan perhitungan performa mesin komatsu SA 12 V 140-1 Setelah Proses Manufacturing. *Sintek Jurnal Mesin Teknologi* , 6-11
- [9] Ummatin Kuntum, S. P. (2015). Pemodelan Pengelolaan Sampah Kota Sebagai Bahan Energi Alternatif Di Kabupaten Gresik. *Seminar Nasional Terpadu Keilmuan Teknik Industri*, (pp. 65-74). Malang: Universitas Brawijaya.