

Optimasi Fasilitas Produksi Unit untuk Meningkatkan Produksi Pelumas (Studi Kasus PT. Pertamina Lubricants, dengan Fokus Production Unit Cilacap)

Kartiman¹, Ayomi Dita Rarasati¹

¹Manajemen Infrastruktur, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 16424, Indonesia.

ABSTRACT

PLPUC is a company that uses LOBP technology to produce lubricants. In such technology depends on the engine. One of the machines is filling lithos, and the machine has several problems, namely production failures due to engine failures that result in downtime so that the lubricant production target decreases. From these problems, it is necessary to mitigate, namely carrying out preventive replacements (PR) to schedule replacement of engine components that will be damaged so as to reduce downtime by calculating the replacement time using LSS (Lean Six Sigma). And that mitigation is the goal of this study. And part of the lean six sigma method is six sigma which serves to analyze the possibility of defective lubricant products being produced, and as a waste removal in downtime from the value stream using lean manufacturing that generates added value. Then to assess the level of productivity and production quality of the company can be seen from OEE (Overall Equipment Effectiveness) as an indicator of productivity and the level of production quality. Furthermore, from November 2021 to October 2022 PUC obtained an OEE value of 82.32%, and this should be increased to optimize PUC production. From the PUC Operating Speed Rate, there are engine components that decrease in Actual Time (minutes/unit) that require repair/replacement and carry out preventive replacements based on the service life of the engine components and the level of reliability of engine performance which is expected to improve that & Operation Time Production, then after conducting preventive replacements, the realization of unit production increased by 4.5% to 21,523,803.

Keywords : Downtime, LSS, OEE, PR.

ABSTRAK

PLPUC adalah perusahaan yang menggunakan teknologi LOBP untuk memproduksi pelumas. Dalam teknologi tersebut bergantung pada mesin. Salah satu mesinnya adalah filling lithos, dan mesin tersebut memiliki beberapa masalah, yaitu kegagalan produksi akibat kegagalan mesin yang mengakibatkan downtime sehingga target produksi pelumas menurun. Dari permasalahan tersebut, perlu dilakukan mitigasi yaitu melakukan penggantian preventif untuk menjadwalkan penggantian komponen mesin yang akan rusak sehingga dapat mengurangi downtime dengan menghitung waktu penggantian menggunakan lean six sigma. Dan mitigasi tersebut menjadi tujuan penelitian ini. Dan bagian dari metode lean six sigma adalah six sigma yang berfungsi untuk menganalisis kemungkinan produk pelumas yang rusak diproduksi, dan sebagai penghapusan limbah dalam waktu henti dari aliran nilai menggunakan lean manufacturing yang menghasilkan nilai tambah. Kemudian untuk mengkaji tingkat produktivitas dan kualitas produksi perusahaan dapat dilihat dari OEE (Overall Equipment Effectiveness) sebagai indikator produktivitas dan tingkat kualitas produksi. Selanjutnya, dari November 2021 hingga Oktober 2022 PUC memperoleh nilai OEE sebesar 82,32%, dan ini harus ditingkatkan untuk mengoptimalkan fasilitas PUC. Dari Operating Speed Rate PUC terdapat komponen mesin yang menurun di Actual Time (menit/unit) yang memerlukan perbaikan/penggantian dan melakukan penggantian preventif berdasarkan masa pakai komponen mesin dan tingkat keandalan kinerja mesin yang diharapkan dapat meningkatkan hal tersebut dan Operation Time Produksi, lalu setelah melakukan penggantian preventif, realisasi produksi unit meningkat 4.5% menjadi 21,523,803.

Kata kunci : Downtime, LSS, OEE, PR.

Correspondence : Kartiman

Email : kartiman.sipil@gmail.com

1 PENDAHULUAN

Pasar domestik dan ekspor mengalami peningkatan pada bidang manufaktur industri, sehingga bisa memenuhi kebutuhan tersebut. Kemenperin atau Kementerian Perindustrian melaksanakan produksi yang lebih tinggi dengan penguatan *upstream industry* yang strategis. Target dari *contribution* bidang *manufacture* terhadap *Gross Domestic Product* (GDP) lebih tinggi, dan dengan upaya peningkatan produktivitas dengan penguatan industri hulu yang strategis diharapkan dapat memenuhi target. Dan terjadi pertumbuhan sebesar 3.86% pada bidang *manufacture* yang meningkatkan GDP menjadi 20.07% dalam *quarter* 1 2019 yang disampaikan oleh Airlangga Hartarto sebagai *Industry Minister* dalam IDF di Jakarta (Kemenperin, 2019).

Kemudian berdasarkan RIPIN 2015-2035 dalam PP No. 14 tahun 2015, *national industrial development vision* adalah menjamin kepastian berusaha (persaingan yang sehat), berdaya saing dan maju, meningkatkan industri yang mandiri, dan membangun industri berdaya *competitive* tinggi ditingkat *international*, dengan memperkuat *national industrial structure* (Hendri, 2020).

Salah satu perusahaan dengan bidang industri manufaktur yang memproduksi oli pelumas berteknologi LOBP atau *Lube Oil Blending Plant* adalah PT. PL. Suatu teknologi pengolahan minyak mentah menjadi oli pelumas disebut LOBP. Kualitas pelumas yang diproduksi harus dikendalikan agar tetap memenuhi spesifikasi standar yang sesuai dengan ketentuan SNI atau SK DITJEN MIGAS yang merupakan salah satu persyaratan produksi dari teknologi LOBP (petrolab.webge.com).

Proses pengolahan (*blending*) dan proses pengisian (*filling*) merupakan bagian dari teknologi LOBP, kedua proses produksi tersebut dilakukan pada sistem rangkaian mesin produksi yang otomatis. Dan *mixing process* dengan minyak dasar dan aditif dasar disebut *blending*, sedangkan pengisian oli pelumas masuk di material pembungkus pelumas (botol, *label*, *capper*, kardus) disebut *filling*. Di PT. Pertamina Lubricants, *Production Unit Cilacap* (PUC) terdiri atas tiga stasiun proses *filling* produksi, yaitu stasiun *filling lithos*, stasiun *filling drum*,

stasiun *filling bulk* (curah). *Product quality* untuk memenuhi spesifikasi kualitas standar dapat dihasilkan dalam proses pengolahan (*blending*) dan pengisian (*filling*) secara otomatis (Pertamina Lubricants, 2022).

Keunggulan dalam hal kecepatan produksi tinggi dimiliki teknologi yang otomatis, yang bisa membantu dalam memenuhi peningkatan permintaan produksi. Kecepatan produksi yang tinggi pada mesin dapat menimbulkan penurunan tingkat *machine reliability* pada kegagalan fungsi atau *damage* pada *production machine* (Susanto, 2018).

Dalam dunia industri modern untuk perencanaan, desain, manufaktur dan pengoperasian produk serta sistem dari yang sederhana sampai sistem kompleks dibutuhkan seorang ahli teknik yang profesional / manajer bagian teknik yang bertanggung jawab ke hal-hal penting tersebut, dan kerusakan pada lingkungan maupun masyarakat sekitar yang dapat disebabkan karena kegagalan / kecacatan pada perencanaan, desain, manufaktur, dan pengoperasian produk serta sistem tersebut (Pitana, 1998).

Produk dengan kualitas tanpa kecacatan dan produk dengan kualitas cacat mesin merupakan hasil produksi. Munculnya cacat produk dari proses produksi *filling lithos* pernah terjadi pada periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022 dan masalah tersebut sering terjadi dalam proses produksi PUC. Salah satu indikasi awal penurunan keandalan mesin produksi dalam menghasilkan produk berkualitas ketika ditemukannya kecacatan. Ditemukannya kecacatan produk yang dihasilkan dari mesin produksi *filling lithos* menyebabkan proses produksi dihentikan. *Downtime* merupakan proses produksi yang berhenti akan mengurangi waktu operasi mesin produksi (Jeffrey dan Meier, 2007). Karena terjadi *downtime*, dibutuhkan suatu *maintenance* atau pemeliharaan untuk perbaikan mesin *filling lithos* agar tidak menghasilkan produk yang cacat. Salah satu tindakan pencegahan awal kecacatan produk yaitu dengan membuat suatu sistem perawatan (*maintenance*) mesin yang terjadwal rutin dengan melihat keandalan bagian mesin agar proses produksi berjalan lancar dengan *downtime* yang rendah.

Beberapa penyebab *downtime* yaitu karena kegagalan fungsi atau kerusakan mesin produksi,

menunggu material produksi, gudang penuh (*pallet* habis), dan karena menunggu *release* oli pelumas, berdasarkan pengamatan penelitian yang dilakukan di PUC, dari empat penyebab tersebut yang paling sering terjadi dan mempengaruhi pencapaian jumlah produksi PUC adalah karena kegagalan atau kerusakan mesin produksi yang berupa waktu *set up* mesin (*adjustment / maintenance*).

Sepanjang tahun bulan November 2021 sampai Oktober 2022 untuk waktu *adjustment / maintenance* yang diakibatkan karena kegagalan fungsi atau kerusakan mesin produksi, yaitu sebesar 16,69% dari total waktu produksi yang tersedia, dengan tingkat kecacatan material yang dihasilkan sebesar 1,07% dari total produk yang dihasilkan, dimana presentase tersebut melebihi batas maksimal persentase kecacatan material PT. Pertamina Lubricants, yaitu sebesar 1,05%. Dan waktu *downtime* mesin produksi sebesar 16,69% mengakibatkan *loss of production* sebesar 21,89% dari total produk yang dihasilkan, sehingga untuk total *loss of production* dari *downtime* mesin produksi dan kecacatan material produksi sebesar 22,72% dari total produk yang dihasilkan sepanjang tahun bulan November 2021 sampai Oktober 2022. Besarnya pemborosan waktu (*waste delay*) karena *downtime* proses produksi mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah produksi.

Akibat kegagalan fungsi atau kerusakan mesin maka perlu adanya suatu sistem *maintenance* yang lebih baik untuk mencegah penurunan jumlah produksi tersebut. Dalam memastikan *physical assets* bisa memenuhi kebutuhan *function* diperlukan *maintenance* (Moubray, 1997). Dan cara yang *effective* sebagai peningkat *machine reliability* juga dengan *maintenance* (Aggarwal, 1993). Dalam usaha mitigasi *damage*, kehilangan produksi, dan *asset damage* pada mesin produksi, maka tindakan *maintenance* dibutuhkan sesegera mungkin.

Preventive maintenance dan *corrective maintenance* merupakan dua jenis sistem *maintenance* (Palimirma, 2009). Dan berdasarkan hasil *pre-feasibility study* yang dilakukan pihak engineering diketahui bahwa untuk penambahan produk unit dari limbah minyak sisa Pertamina Revinery Unit IV Cilacap

yang belum optimal terwadahi dalam *Base Oil Storage Tank* untuk bahan baku (*base oil*) pembuatan pelumas karena keterbatasan infrastruktur PUC, maka dipilih juga *pressure maintenance* dengan penambahan infrastruktur PUC. Dan *maintenance* yang dilaksanakan oleh PUC hanya berupa *corrective maintenance*, ketika mesin telah mengalami kegagalan fungsi atau kerusakan, baru akan dilakukan perbaikan. Adanya penghentian proses produksi secara tiba-tiba untuk mengatasi kerusakan mesin yang terjadi merupakan kekurangan dari *maintenance* mesin yang bersifat *corrective*. Dan untuk menghindari penghentian proses produksi secara tiba-tiba, dapat dilakukan mitigasi berupa *preventive maintenance*. Penggantian (*preventive replacement*) komponen sebelum mengalami kerusakan merupakan salah satu bentuk aktivitas *preventive maintenance* (Pawesti, 2005). Untuk mengurangi kejadian *downtime* akibat kegagalan fungsi atau kerusakan mesin berdasarkan pada umur pakai mesin sehingga diharapkan dapat meningkatkan keandalan kinerja mesin produksi seperti kondisi baru merupakan tujuan dilakukannya *preventive replacement*.

Metode dalam penelitian ini menggunakan *Lean Six Sigma* untuk menyelesaikan permasalahan di PUC. Untuk mengeliminasi serta menurunkan pemborosan waktu pada semua *process* serta memaksimalkan efisiensi proses adalah tujuan penggunaan metode *lean six sigma*. Kemudian sebagai cara *identify, analysis, eliminate* sumber masalah dalam proses, terutama pada kualitas produk dan hal tersebut merupakan tujuan penggunaan metode *lean six sigma*. Semua kegiatan untuk mengetahui penyebab penting untuk kualitas produk serta pemborosan waktu akibat *downtime* dalam produksi adalah *opportunity* untuk *maintenance, enhancement* waktu produksi dan *production quality*, lalu hal-hal tersebut merupakan bagian dari prinsip penggunaan *lean six sigma* (George, 2002).

Kemudian penelitian ini bertujuan untuk optimasi fasilitas PUC dengan menurunkan tingkat *waste*, khususnya penurunan *downtime* mesin yang terjadi agar dapat mengurangi jumlah *unit production loss*, dan untuk menurunkan *downtime* akibat dari kerusakan mesin produksi, maka penelitian ini akan melakukan tindakan perbaikan berupa penentuan penjadwalan *preventive replacement* berdasarkan tingkat

keandalan dan umur pemakaian mesin produksi PUC.

2 METODE PENELITIAN

2.1 Tahap Pendahuluan

Pada tahap ini dilakukan tahapan penelitian yang meliputi *preliminary observations*, *formulation problem*, identifikasi masalah, dan tinjauan pustaka.

2.2 Tahap Pendahuluan

Data yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan (data mentah dan harus diolah untuk digunakan). Sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari data yang sudah tersedia di perusahaan.

2.3 Data Processing Stage

Pengolahan data menggunakan metode lean six sigma atau metode lima tahap (DMAIC), yang merupakan salah satu dari strategi konseptual six sigma, diimplementasikan sebagai strategi peningkatan kinerja dan pengembangan untuk menerapkan perbaikan terhadap masalah yang ada itu sendiri. Berdasarkan pada *The International Journal of Manufacturing Technology Management* (Ike C. Dan C.Sheu, 2005).

2.4 Analisis Data

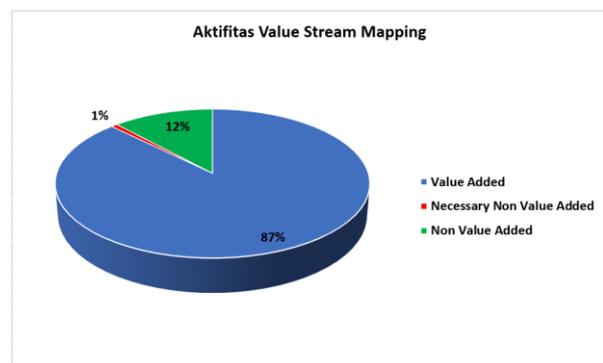
Langkah analisis merupakan langkah selanjutnya setelah langkah pengukuran (measurement). Pada titik ini akan dilakukan analisis dan identifikasi penyebab utama masalah yang mempengaruhi jenis pemborosan dan downtime yang terjadi pada proses produksi sehingga dapat diketahui tindakan akhir yang dapat langsung menangani akar permasalahannya.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Tahap Define

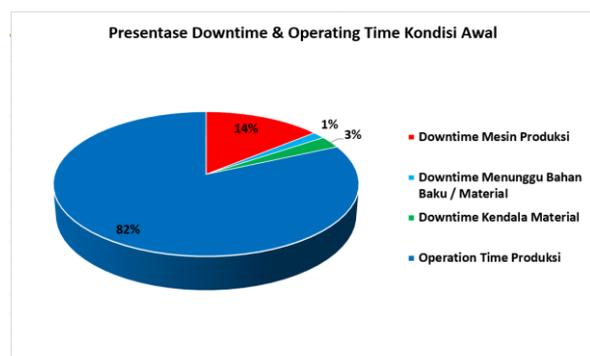
Langkah ini dilakukan untuk mengetahui permasalahan yang akan menjadi subjek

penelitian yaitu waste yang terjadi pada saat produksi filler lithos. Pelumas Pertamina unit produksi Cilacap. Masalah ini berfokus pada penggunaan Value Stream Mapping (VSM). Berdasarkan pemetaan aliran nilai, dapat dilihat persentase keseluruhan aktivitas produksi litium selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022, seperti terlihat pada Gambar 1.



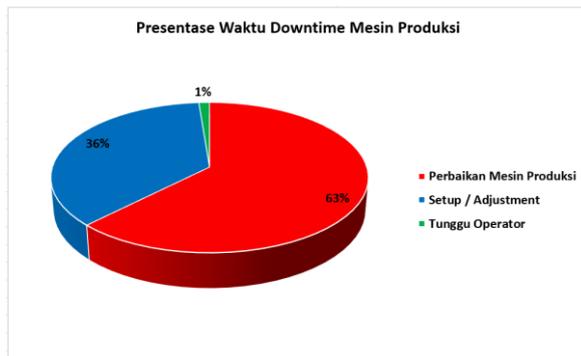
Gambar 1. Persentase Aktifitas *Value Stream Mapping*

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa 87,45% merupakan kegiatan bernilai tambah, 0,74% merupakan kegiatan tidak bernilai tambah perlu dan 11,82% merupakan kegiatan tidak bernilai tambah. Sedangkan berdasarkan pada Tabel 4.9 diketahui bahwa keseluruhan non value adding activity merupakan aktifitas *downtime* yang terjadi di mesin produksi. Aktifitas *downtime* mesin produksi yang terjadi terdiri dari empat faktor pengaruh yaitu kerusakan mesin produksi, menunggu material produksi, kapasitas gudang produksi penuh, menunggu *release* oli pelumas. Faktor tersebut mengakibatkan penurunan waktu proses produksi. Persentase aktifitas *downtime* dan aktifitas proses operasi selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022 dapat dilihat pada Gambar 2.



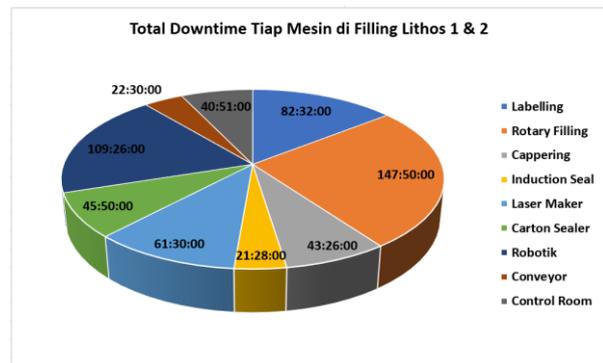
Gambar 2. Persentase *Downtime* dan Proses Operasi Produksi *Filling Lithos 1*

Setelah mengetahui persentase *downtime* produksi yang terjadi yaitu *downtime* kerusakan mesin memiliki *downtime* tertinggi yaitu sebesar 582 jam 39 menit dalam periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022 yang paling berpengaruh besar dalam menyebabkan penurunan waktu operasi produksi. Maka langkah selanjutnya menjabarkan kerusakan apa saja dalam *downtime* kerusakan mesin produksi tersebut. Kerusakan mesin produksi diakibatkan oleh tiga faktor yaitu waktu setting mesin, waktu perbaikan mesin, dan faktor lain. Persentase ketiga faktor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Persentase Waktu Kerusakan Mesin Produksi (*Downtime*) *Filling Lithos 1*

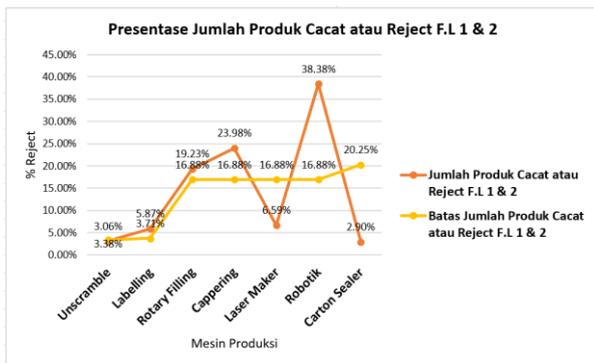
Tindakan perbaikan dan setting dilakukan di semua mesin produksi *filling lithos* yang mengalami kegagalan fungsi prosesnya, sehingga membutuhkan suatu tindakan untuk memperlancar dan memperbaiki fungsi kinerja mesin produksi. Berdasarkan pada tabel persentase *downtime* di masing-masing mesin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Total *Downtime* Tiap Mesin Produksi Selama Periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022

Berdasarkan pada Gambar 4, dapat diketahui bahwa mesin produksi yang memiliki *downtime* tertinggi adalah mesin *rotary filling* sebesar 147 jam 50 menit, *robotic* sebesar 109 jam 26 menit, sedangkan yang memiliki *downtime* terendah pada mesin *conveyor* sebesar 22 jam 30 menit dan mesin *induction seal* sebesar 21 jam 28 menit.

Selain itu, salah satu terjadinya *downtime* berawal dari mesin yang menghasilkan produk dengan kualitas cacat, sehingga harus dilakukan suatu tindakan *adjustment* atau perbaikan. Hal tersebut dikarenakan perusahaan tidak menginginkan produk cacat pada produk yang dihasilkan. Jadi perusahaan lebih baik menghentikan proses mesin produksi (*downtime*) daripada meneruskan mesin produksi yang menghasilkan produk cacat. Berdasarkan pada jumlah kecacatan material di proses produksi terbesar terdapat pada mesin produksi robotik yaitu sebesar 11.370 unit, sedangkan jumlah kecacatan material di proses produksi terkecil pada mesin produksi unscramble yaitu sebesar 916 unit selama produksi periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022. Adapun persentase kecacatan material terhadap batas maksimum jumlah kecacatan material di masing-masing mesin produksi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Persentase Kecacatan Material Ditiap Mesin Produksi

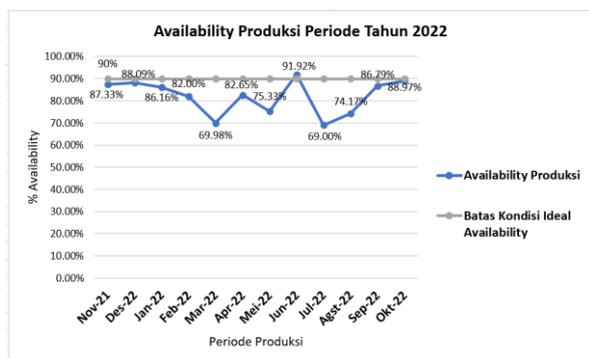
Berdasarkan pada Gambar 5, diketahui bahwa kecacatan material di mesin produksi *filling lithos* banyak yang melampaui batas maksimum kecacatan material yang ditetapkan perusahaan. Hasil dari identifikasi masalah tersebut didapatkan dalam proses produksi PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap mengalami permasalahan produksi yang berupa *non value added activity*. Salah satunya *non value added activity* yang berpengaruh besar dalam penurunan waktu operasi adalah *downtime* kerusakan mesin yang menyebabkan kecacatan material produksi. Setelah didapatkan bahwa *downtime* keseluruhan mesin dan kecacatan material yang dihasilkan diseluruh mesin produksi berpengaruh besar dalam kinerja proses produksi, maka langkah selanjutnya dilakukan pengukuran untuk mengetahui seberapa besar nilai sigma dan nilai OEE yang dicapai perusahaan selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022.

3.2 Analisis Tahap Measure

Pada tahap ini dilakukan pengukuran *waste* berdasarkan pada tahap identifikasi yang telah dilakukan yaitu *non value adding activity* proses produksi *filling lithos* perusahaan sebesar 11,82% dari persentase waktu kinerja per harinya dengan jumlah kecacatan produk yang dihasilkan rata-rata melampaui batas maksimum yang telah ditentukan. Sehingga pada tahap measure dilakukan dua pengukuran yaitu *Defect Per Million Oppourtunity* (DPMO) untuk mengetahui nilai sigma perusahaan dan *Overall Equipment*

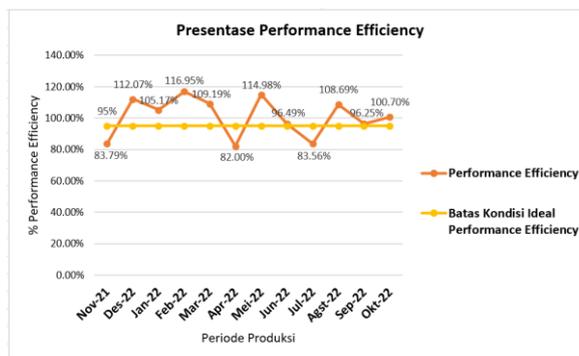
Effectiveness (OEE) untuk mengetahui seberapa besar keefektifan fasilitas produksi perusahaan selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022. Pada Pengukuran DPMO menggambarkan pengukuran seberapa besar peluang tingkat kecacatan yang diproduksi untuk setiap satu juta kesempatan operasi. Berdasarkan pada pengolahan data diperoleh bahwa nilai DPMO perusahaan sebesar 64 sehingga nilai sigma perusahaan dibawah 6 sigma yaitu selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022 nilai sigma PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap adalah 5,33 sigma. Berdasarkan hal tersebut, operasi yang implementasi sangat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan sehingga dapat mempengaruhi nilai sigma perusahaan yang dijadikan sebagai ukuran keberhasilan kualitas produksi perusahaan. Untuk mengetahui keberhasilan operasi produksi yang dilakukan perusahaan, dapat dilakukan pengukuran interval kerusakan. Pengukuran interval kerusakan berfungsi untuk mengetahui seberapa sering kendala operasi (kerusakan mesin) yang terjadi di masing-masing mesin produksinya. Pengukuran interval kerusakan dilakukan dengan mengukur nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dan *Mean Time Between Failure* (MTBF). Berdasarkan pada Tabel 4.16 diketahui bahwa nilai MTTF terkecil dimiliki oleh mesin *labelling* yaitu 0,167 jam untuk *repair time* dan 0,488 jam untuk *set-up time*. Sedangkan diketahui bahwa nilai MTBF terkecil dimiliki oleh mesin *filling* yaitu 37,081 jam untuk *repair time* dan 33,053 jam untuk *set-up time*. Semakin kecil nilai MTTF dan MTBF yang terjadi di masing-masing mesin maka dapat diketahui bahwa interval kerusakan yang terjadi semakin tinggi seiring waktu proses operasi produksi yang dilakukan, dan sebaliknya. Hal tersebut selain berpengaruh terhadap nilai sigma perusahaan juga dapat berpengaruh pada keefektifan proses produksi yang dilakukan yaitu semakin tingginya frekuensi kendala mesin, semakin besar waktu operasi mesin produksi yang terbuang untuk melakukan perbaikan di mesin tersebut. Keefektifan produksi yang dilakukan dapat diukur menggunakan OEE. Pengukuran OEE terdiri dari 3 tahap pengukuran yaitu *avalilability*, *performance rate* dan *rate of quality product*. *Availability* digunakan untuk mengukur total waktu yang hilang ketika masing-

masing bagian mesinproduksi tidak beroperasi. *Availability rate* dipengaruhi dua faktor pengaruh, yaitu rugi-rugi kerusakan/waktu perbaikan dan rugi-rugi set-up/penyesuaian. Berdasarkan pada tahap pengolahan data didapatkan bahwa nilai rata-rata *availability* selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022 sebesar 81,86% dengan nilai *reability* sebesar 86,88%. Pada Gambar 6 dapat dilihat nilai *availability* selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022.



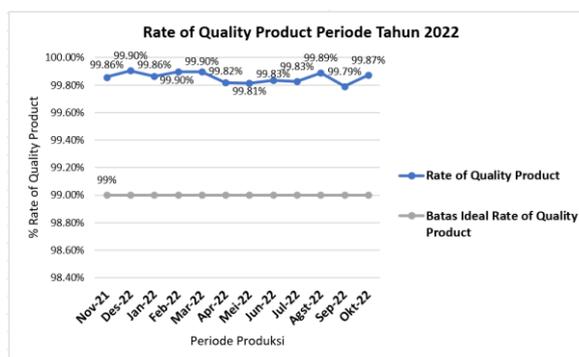
Gambar 6. Persentase *Availability* Proses Produksi bulan November 2021 sampai Oktober 2022

Berdasarkan pada Gambar 6 didapatkan bahwa tingkat ketersediaan waktu produksi (*availability*) PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap dibawah kondisi ideal. Hal ini dikarenakan dalam proses produksi *filling lithos* sering terjadi *breakdown losses* dan *set up/adjustment losses*. Sedangkan pengukuran *performance* tingkat produksi yang dibuat untuk tujuan mengetahui kuantitas persentase kinerja mesin dalam memproduksi produk terhadap kinerja optimum mesin sebenarnya. *Performance efficiency* memiliki dua faktor pengaruh, yaitu pemalasan dan menghentikan kerugian dan memperlambat. Berdasarkan pada tahap pengukuran tingkat kinerja mesin produksi PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap didapatkan bahwa nilai rata-rata *performance efficiency* yang dicapai adalah 100,82%. Pada Gambar 7 dapat dilihat nilai *performance efficiency* selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022.



Gambar 7. Persentase *Performance Efficiency* Proses Produksi bulan November 2021 sampai Oktober 2022

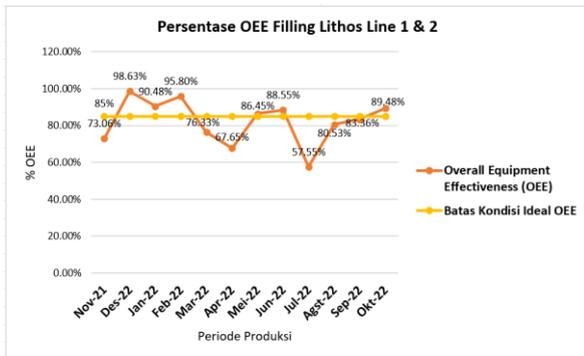
Berdasarkan pada Gambar 7 didapatkan bahwa tingkat *performance efficiency* PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap diatas kondisi ideal tetapi dalam proses produksi *filling lithos* sering terjadi pemalasan dan kerugian penghentian kecil. Pengukuran rasio kualitas produk dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa baik produk yang dihasilkan relatif terhadap jumlah total produk yang dapat dihasilkan. Rasio kualitas produk dipengaruhi oleh dua faktor: jumlah produk cacat dan jumlah total produk yang dihasilkan. Pada Gambar 8 dapat dilihat persentase *rate of quality product* yang dihasilkan selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022.



Gambar 8. Persentase *Rate Of Quality Products* Proses Produksi bulan November 2021 sampai Oktober 2022

Berdasarkan pada Gambar 8 didapatkan bahwa mayoritas tingkat *rate of quality product* PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap diatas kondisi ideal tetapi dalam proses produksi *filling lithos* sering terjadi kegagalan fungsi mesin produksi yang menghasilkan

produk cacat. Berdasarkan perhitungan ketersediaan produk, tingkat aktivitas dan rasio kualitas, diperoleh nilai OEE PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022.



Gambar 9. Persentase *Overall Equipment Effectiveness* Proses Produksi bulan November 2021 sampai Oktober 2022

Berdasarkan pada Gambar 9 didapatkan bahwa semua tingkat OEE mesin produksi PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap dibawah kondisi ideal. Hal ini dikarenakan adanya kendala mesin produksi yang sering terjadi dalam proses produksi PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap. Semakin tingginya kendala (*downtime*) mesin produksi dapat mempengaruhi penurunan ketersediaan waktu produksi (*availability*) dan tingkat performansi perusahaan dalam memproduksi produk (*performance rate*), dan mempengaruhi persentase kualitas (*rate of quality product*) PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap. Sehingga dalam tingkat OEE mesin produksi, PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap harus melakukan perbaikan agar dapat lebih memaksimalkan proses produksi perusahaan. Sebelum melakukan tindakan perbaikan, penelitian ini menganalisis jenis kerusakan mesin yang sering terjadi yaitu dengan menggunakan keluar dari Analisis Pohon Kesalahan (FTA) dan Analisis Efek Mode Kesalahan (FMEA) di seluruh mesin produksi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui semua jenis kerusakan mesin sehingga mesin perlu dilakukan tindakan perbaikan agar perbaikan yang dilakukan lebih maksimal untuk meningkatkan kinerja proses produksi.

3.3 Analisis *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Langkah pertama dalam analisis yaitu penentuan *Fault Tree Analysis* (FTA) yang berfungsi untuk mengetahui *basic event* yang menyebabkan kegagalan fungsi operasi masing-masing mesin produksi. Berdasarkan yang menjadi *top event* yaitu kecacatan material produksi yang disebabkan oleh ketujuh mesin produksi. Jika salah satu dari mesin produksi gagal menjalankan fungsinya maka kecacatan material produksi dapat terjadi, sehingga hubungan antara kecacatan material dan kegagalan fungsi mesin produksi adalah *OR Gate*. Penyusunan *Fault Tree Analysis* (FTA) menganalisis mesin produksi yang paling banyak memiliki peluang kerusakan di komponen mesinnya adalah pada mesin *filling* yaitu 6 komponen mesin *filling* yang paling sering mengalami kegagalan fungsi dengan 10 *basic event* yang terjadi dalam komponen mesin *filling* tersebut. Setelah mengetahui semua *basic event* di masing-masing mesin produksi, maka langkah selanjutnya menganalisis lebih lanjut kerusakan yang berada di tiap komponen mesin dengan menggunakan Analisis Efek Mode Kesalahan (FMEA). Pada tabel FMEA yang dihasilkan, diperoleh nilai RPN (risk priority number) untuk setiap mode kegagalan. Nilai RPN diperoleh dengan mengalikan nilai keparahan, kejadian, dan deteksi. Nilai-nilai tersebut merupakan hasil penilaian seberapa besar kerusakan yang terjadi pada mesin dan menyesuakannya dengan definisi rating Automotive Industry Action Group (AIAG) untuk tingkat keparahan, kejadian, dan perkembangan saat ini. Sedangkan nilai yang muncul perhatikan juga hasil perhitungan nilai interval dan nilai yang terdeteksi. Terlihat bahwa nilai RPN tertinggi diperoleh dari waste downtime dan waste yang terjadi pada setiap mesin produksi, khususnya sebagai berikut:

1) Mesin Labelling

Pada mesin labelling memiliki 5 komponen mesin yang sering mengalami kegagalan fungsi operasi serta menyebabkan kecacatan produk yang dihasilkan di mesin labelling dan memiliki 6 *basic event*. Berdasarkan hasil pengukuran analisis yang dilakukan mesin labelling yang

memiliki nilai risk priority number tertinggi berada pada failure in ode sensor bottle label bergeser posisi sebesar 239.4, sedangkan nilai risk priority number terendah di failure mode koneksi poor contact pada bottle label servo motor sebesar 73,5.

2) Mesin Filling

Pada mesin filling memiliki 6 komponen mesin yang sering mengalami kegagalan fungsi operasi serta menyebabkan kecacatan produk yang dihasilkan di mesin filling dan memiliki 10 basic event. Berdasarkan hasil pengukuran analisis yang dilakukan mesin filling yang memiliki nilai risk priority number tertinggi berada pada failure mode starweel filler bergeser posisi sebesar 285, sedangkan nilai risk priority number terendah di failure mode tekanan angin berkurang pada suction cup filler sebesar 110,88.

3) Mesin Capping

Pada mesin capping memiliki 2 komponen mesin yang sering mengalami kegagalan fungsi operasi serta menyebabkan kecacatan produk yang dihasilkan di mesin capping dan memiliki 2 basic event. Berdasarkan pada hasil pengukuran analisis yang dilakukan mesin capping yang memiliki nilai risk priority number tertinggi berada pada failure mode header capper and guid bergeser posisi/gerakan tidak stabil sebesar 268.2, sedangkan nilai risk priority number terendah di failure mode inverter capper tidak bisa bekerja dengan baik sebesar 130,08.

4) Mesin Laser Maker

Pada mesin laser maker memiliki 1 komponen mesin yang sering mengalami kegagalan fungsi operasi serta menyebabkan kecacatan produk yang dihasilkan di mesin laser maker dan memiliki 3 basic event. Berdasarkan pada hasil pengukuran analisis yang dilakukan mesin laser maker yang memiliki nilai risk priority number tertinggi berada pada failure mode berkurangnya power lastub sebesar 189.6, sedangkan nilai risk priority number terendah di failure mode laser maker bergeser posisi sebesar 103.2.

5) Mesin Carton Sealer

Pada mesin carton sealer memiliki 4 komponen mesin yang sering mengalami kegagalan fungsi operasi serta menyebabkan kecacatan produk yang dihasilkan di mesin

carton sealer dan memiliki 5 basic event. Berdasarkan hasil pengukuran analisis yang dilakukan mesin carton sealer yang memiliki nilai risk priority number tertinggi berada pada failure mode settingan tekanan angin pada silinder terlalu kencang sebesar 126.9, sedangkan nilai risk priority number terendah di failure mode bussing longgar sebesar 24.4.

6) Mesin Robotic

Pada mesin robotic memiliki 5 komponen mesin yang sering mengalami kegagalan fungsi operasi serta menyebabkan kecacatan produk yang dihasilkan di mesin robotic dan memiliki 7 basic event. Berdasarkan pada hasil pengukuran analisis yang dilakukan mesin robotic yang memiliki nilai risk priority number tertinggi berada pada failure mode perubahan posisi sensor orienter sebesar 339.3, sedangkan nilai risk priority number terendah di failure mode napple pada silinder bocor sebesar 89.5. Analisis risk priority number setiap mesin produksi tersebut nantinya yang menjadi pertimbangan dilakukannya tindakan perbaikan dan pengendalian agar mesin produksi tersebut tidak memiliki resiko kerusakan yang tinggi. Setelah menganalisis jenis kerusakan apa saja yang sering terjadi dan menghasilkan kecacatan material serta mengetahui prioritas tertinggi mesin maka langkah selanjutnya dapat dilakukan tindakan perbaikan di seluruh mesin yang sudah dianalisis tersebut.

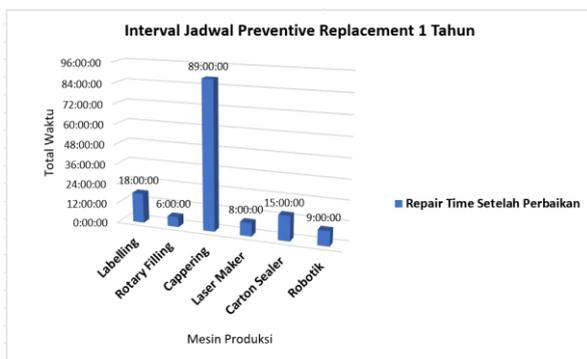
3.4 Analisis Tahap Improve

Pada fase improvement bertujuan untuk memperbaiki isu-isu yang dianggap penting (risk priority number) atau sebagai kunci persoalan pada proses produksi filling lithos. Kunci persoalan yang diidentifikasi dari awal proses adalah waste downtime mesin dan waste kecacatan material produksi, dimana setelah dilakukan pengukuran lebih lanjut kedua waste tersebut sangat mempengaruhi tingkat kinerja proses produksi perusahaan yaitu terutama pada tingkat Overall Equipment Effectiveness (OEE) (Nakajima, 1988). Sedangkan dari langkah analisis yang dilakukan dengan menggunakan Failure Mode Effect Analysis (FMEA), diketahui risk priority number kegagalan fungsi operasi tiap komponen mesin yang menyebabkan mesin produksi tersebut menghasilkan waste. Maka

dari itu, pada tahap perbaikan ini akan melakukan tindakan perbaikan yang berupa tindakan maintenance mesin untuk memperbaiki kinerja mesin, dimana kegiatan maintenance merupakan salah satu langkah yang digunakan untuk memperbaiki semua jenis kendala mesin yang terjadi. Jika kinerja mesin semakin baik maka bisa menguasai kefasihan jalan pabrikasi dan nilai nilai perkakas yang dihasilkan.

Salah satu aktivitas dari maintenance adalah kegiatan preventive replacement. Sehingga penelitian ini merencanakan suatu penjadwalan untuk melakukan kegiatan preventive replacement dalam permasalahan repair time saja agar tidak sering terjadi kerusakan pada mesin. Penjadwalan preventive replacement ini dilakukan di enam mesin produksi filling lithos. Hal ini didasarkan dari identifikasi awal, pengukuran serta analisis yang telah dilakukan keenam mesin produksi tersebut memiliki peran yang vital dalam proses produksi, sehingga jika keenam mesin produksi tersebut menghasilkan waste maka sangat berpengaruh pada output produksi yang dihasilkan.

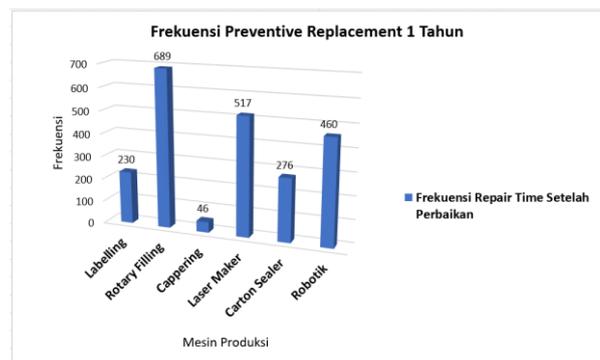
Berdasarkan hasil pengolahan data telah ditentukan interval preventive replacement. Interval preventive replacement didasarkan pada tingkat keandalan (reliability) riil dan umur pemakaian mesin produksi PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022. Perbaikan preventive replacement dilakukan pada tindakan repair time di masing-masing mesin produksi selama bulan November 2021 sampai Oktober 2022, yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Interval Waktu *Preventive*

Replacement Mesin Produksi

Berdasarkan pada Gambar 10 didapatkan bahwa interval preventive replacement terbesar berada pada mesin rotary filling dan robotic. Besar kecilnya Interval preventive replacement dipengaruhi oleh MTBF yang telah diukur pada tahap measure. Berdasarkan pada Tabel 4.17 MTBF pada mesin rotary filling sebesar 37,081 jam untuk repair time, sedangkan untuk mesin robotic sebesar 46,319 jam untuk repair time. MTBF yang kecil menunjukkan sering terjadinya kerusakan mesin, sehingga mengakibatkan jadwal interval yang harus dilakukan juga sesering mungkin/lebih banyak untuk mencegah terjadinya kerusakan yang dapat terjadi lagi. Berdasarkan perhitungan didapatkan bahwa untuk mencegah terjadinya kerusakan di mesin rotary filling dibutuhkan interval preventive replacement setiap 7,88 jam sekali sedangkan untuk mesin robotic 10,72 jam sekali. Setelah menentukan interval waktu preventive replacement maka dapat dihitung jumlah frekuensi tindakan preventive replacement yang harus dilakukan selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022. Berdasarkan perhitungan maka frekuensi preventive replacement dimasing-masing mesin produksi selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022 dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Frekuensi *Preventive Replacement* Mesin Produksi

Berdasarkan pada Gambar 11 didapatkan bahwa frekuensi preventive replacement terbanyak berada pada mesin rotary filling, laser maker dan robotic yaitu untuk mesin rotary filling 689 kali repair time, mesin laser maker 517 kali repair time dan untuk mesin robotic 460 kali repair time.

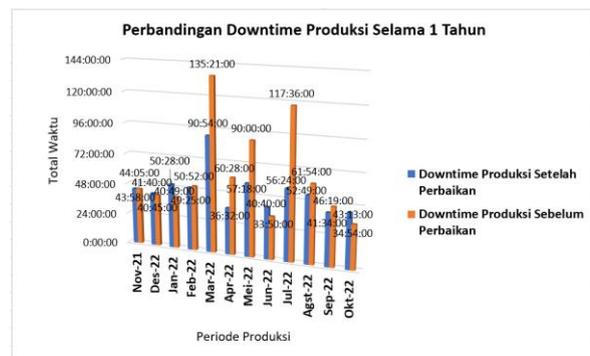
Berdasarkan hal tersebut mesin rotary filling lebih banyak mengalami kerusakan mesin sehingga membutuhkan repair time lebih banyak dibanding dengan mesin laser maker dan robotic. Berdasarkan hasil perhitungan dari interval waktu dan frekuensi preventive replacement, maka didapatkan bahwa semakin kecil interval waktu preventive replacement yang dilakukan maka frekuensi tindakan preventive replacement semakin tinggi. Sedangkan kecilnya interval waktu preventive replacement dipengaruhi oleh tingkat keandalan mesin yaitu semakin tinggi tingkat keandalan mesin membutuhkan semakin banyak tindakan preventive replacement, sedangkan semakin rendahnya tingkat keandalan mesin menggambarkan kurangnya tindakan preventive replacement yang berakibat pada tingginya downtime mesin produksi yang terjadi. Tingkat keandalan dapat ditunjukkan dalam pengukuran reliability tiap mesin produksi atau dapat dilihat pada pengukuran MTBF tiap mesin produksi. Setelah menghitung interval dan frekuensi preventive replacement, maka langkah selanjutnya menghitung total downtime yang mungkin masih terjadi setelah tindakan perbaikan dilakukan yang dinamakan sebagai ekspektasi downtime perbaikan. Ekspektasi total downtime preventive replacement menggunakan metode perhitungan dari age replacement. Metode age replacement digunakan untuk interval waktu preventive replacement berdasarkan pada umur pemakaian mesin.

Berdasarkan pada perhitungan dapat dibandingkan antara *downtime repair time* sebelum dan setelah perbaikan. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan *Downtime Repair* Mesin Produksi

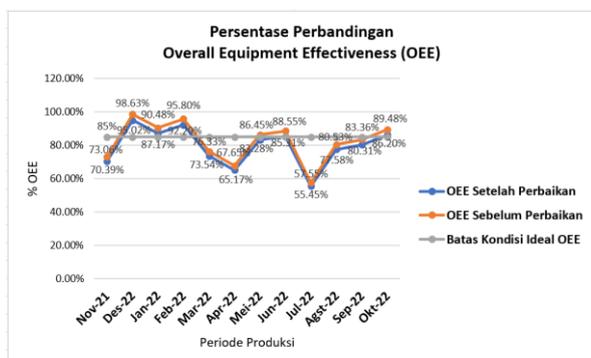
Berdasarkan pada Gambar 12 didapatkan bahwa *downtime* yang masih mungkin terjadi setelah dilakukan perbaikan *preventive replacement* memiliki akumulasi *downtime* yang lebih kecil dibandingkan dengan *downtime* kondisi awal mesin tanpa adanya tindakan *preventive replacement*. Dengan demikian tindakan *preventive replacement* yang dilakukan dapat menurunkan terjadinya *downtime* karena kerusakan yang masih mungkin terjadi. Adanya penurunan *downtime* karena kerusakan disebabkan sering dilakukan tindakan *preventive replacement* yang menghasilkan *downtime* perbaikan. Semakin sering dilakukan *preventive replacement* maka *downtime* perbaikannya juga semakin banyak tetapi dapat menurunkan *downtime* karena kerusakan (seperti pada perbandingan Gambar 12). Maka dari itu penelitian ini, melakukan tindakan *preventive replacement* diluar waktu proses produksi yaitu melakukan tindakan tersebut pada saat istirahat dengan melakukan penambahan shift pada staf teknik. Sehingga disini hanya menghitung *downtime* kerusakan yang masih mungkin terjadi dalam proses produksi. perbandingan *downtime* kondisi awal dengan kondisi setelah perbaikan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan Total *Downtime* Proses Produksi

Berdasarkan pada Gambar 13 diketahui bahwa setelah dilakukan perbaikan dengan tindakan preventive replacement, downtime yang dihasilkan mayoritas menurun. Hal ini dikarenakan semakin sering mesin dilakukan perawatan maka kinerja mesin tersebut juga semakin terjaga konsistensinya sehingga tingkat keandalan mesin semakin baik yang secara langsung memperkecil terjadinya

kegagalan fungsi operasi (downtime karena kerusakan semakin berkurang). Tetapi seiring seringnya tindakan preventive replacement juga dapat meningkatkan downtime untuk perbaikan, hal ini ditunjukkan pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Agustus dan Desember memiliki total downtime preventive replacement yang lebih besar dibanding dengan downtime kerusakan yang terjadi pada kondisi awal. Setelah tindakan preventive replacement dilakukan sebagai tindakan perbaikan proses produksi filling lithos, maka langkah selanjutnya dapat menghitung nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) setelah perbaikan. Agar dapat diketahui perbedaan OEE setelah perbaikan dan sebelum perbaikan, apakah tindakan preventive replacement yang dilakukan dapat meningkatkan nilai OEE atau tidak. Seperti pengukuran OEE sebelum perbaikan, OEE setelah perbaikan dihitung dari perhitungan availability, performance rate dan rate of quality product. Berdasarkan pada pengolahan data dapat dibuat perbandingan nilai OEE proses produksi sebelum dan setelah perbaikan. Perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan Nilai OEE Proses Produksi

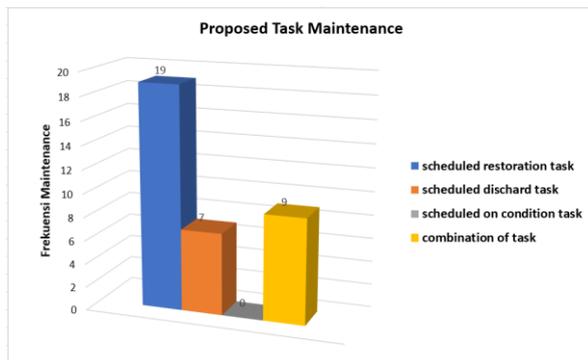
Berdasarkan pada Gambar 14 didapatkan bahwa nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) setelah perbaikan mengalami peningkatan. Sehingga dapat dikatakan bahwa tindakan perbaikan yang dilakukan dapat mempengaruhi nilai rata-rata overall equipment effectiveness (OEE) perusahaan yaitu dari kondisi awal sebesar 82,32% menjadi 79,31%. Dengan menurunnya nilai OEE dapat secara langsung meningkat waktu

proses produksi sesuai dengan tingkat keandalan mesin produksi, sehingga dapat menghasilkan jumlah produk yang berkualitas lebih banyak dibandingkan dengan kondisi awal perusahaan yaitu dari kondisi awal memproduksi produk bebas cacat sebesar 20,597,594 unit, dengan adanya perbaikan yang dilakukan dapat meningkat menjadi 21,523,803 unit. Meningkatnya jumlah produksi yang dihasilkan secara otomatis menunjukkan kinerja dan tingkat keandalan mesin yang meningkat (ditunjukkan pada Tabel 4.39 yaitu dari reliability mesin 86,88% menjadi 90,18%) sehingga dapat meminimalisir unit production loss akibat dari permasalahan mesin produksi yang terjadi. Selain itu, meningkatnya waktu proses produksi menunjukkan pula peningkatan value added activity yaitu sebesar 118,784 jam dari kondisi awal sebesar 110,998 jam per hari. Berdasarkan pada nilai non value added activity menurun seiring bertambahnya nilai value added activity yaitu setelah perbaikan sebesar 7,216 jam dari kondisi awal sebesar 15 jam per hari.

3.5 Analisis Tahap Control

Setelah tindakan perbaikan dilakukan dan hasil dari tindakan perbaikan dapat meningkatkan nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) perusahaan, maka langkah selanjutnya adalah mengatur sistem pengendalian untuk mendukung tindakan perbaikan agar berjalan sesuai yang diharapkan. Sistem pengendalian yang dapat dilakukan untuk mendukung tindakan perbaikan *maintenance* adalah menentukan *task-task maintenance* dalam *proposed task maintenance*. *Proposed task maintenance* merupakan Kebijakan pemeliharaan diterapkan untuk menangani dan mencegah kegagalan fungsional setiap bagian dari mesin produksi. Pada penelitian ini menggunakan empat kebijakan *maintenance* yaitu tugas buang terjadwal, tugas restorasi terjadwal, tugas kondisi terjadwal dan tugas kombinasi. Penentuan *task maintenance* berdasarkan pada tingkat *failure mode* yang terjadi pada masing-masing komponen mesin produksi. Berdasarkan perhitungan diketahui terdapat 33 *proposed task maintenance* yang dilakukan berdasarkan pada 33 *failure mode*

komponen keseluruhan mesin produksi. Sehingga dapat dikategorikan tindakan *proposed task maintenance* seperti gambar 15.



Gambar 15. Jenis Tindakan *Proposed Task Maintenance* Proses Produksi

Berdasarkan perhitungan dan Gambar 3.15 diketahui bahwa komponen mesin produksi PT. Pertamina Lubricants Production Unit Cilacap mayoritas membutuhkan tindakan *proposed task maintenance* berupa tugas pemulihan terjadwal di mana operasi pemeliharaan dilakukan jika komponen yang rusak masih dapat diperbaiki diperbaiki, sedangkan komponen yang sudah tidak bisa diperbaiki menggunakan *scheduled dischard task*. Sedangkan dalam komponen yang dipengaruhi oleh kombinasi dua faktor pengaruh, maka dilakukan tindakan *combination of task*.

4 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari pengolahan dan analisis yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini masalah yang ditemukan dari hasil analisis dengan menggunakan Lean Six Sigma adalah adanya downtime mesin dan kecacatan material yang dihasilkan di proses produksi filling lithos, yang mengakibatkan adanya unit loss production dan penurunan waktu operasi produksi.
2. Pada tahap pengukuran kondisi riil perusahaan (measure), nilai Defect per Million Opportunity (DPMO) perusahaan sebesar 64 dengan nilai Sigma Level sebesar 5,3 sigma. Sedangkan kondisi awal

perusahaan untuk nilai rata-rata Overall Equipment Effectiveness (OEE) selama periode bulan November 2021 sampai Oktober 2022 mencapai 82,32% dari kondisi ideal OEE sebenarnya sebesar 85%.

3. Tindakan perbaikan yang dilakukan pada penelitian ini adalah menentukan jadwal preventive replacement terhadap permasalahan repair time di seluruh mesin produksi filling lithos. Tindakan preventive replacement didasarkan pada tingkat keandalan dan umur pemakaian di setiap mesin filling lithos. Pada jadwal preventive replacement mesin labelling dilakukan setiap 18 jam, pada mesin rotary filling dilakukan setiap 6 jam, pada mesin capering dilakukan setiap 89 jam, pada mesin laser maker dilakukan setiap 8 jam, pada mesin carton sealer dilakukan setiap 15 jam, sedangkan untuk mesin robotic dilakukan setiap 9 jam.
4. Pada preventive replacement yang dilakukan dapat mempengaruhi nilai Overall Equipment Effectiveness (OEE) kondisi awal perusahaan dari OEE kondisi awal sebesar 82,32% menjadi 79,31%. Menurunnya nilai OEE dipengaruhi oleh menurunnya akumulasi downtime yaitu pada kondisi awal downtime kerusakan mesin produksi sebesar 575 jam 23 menit, setelah dilakukan perbaikan menjadi 423 jam 25 menit yang terjadi dalam proses mesin produksi selama bulan November 2021 sampai Oktober 2022. Sehingga hal tersebut dapat meningkatkan jumlah produksi berkualitas sekaligus dapat menurunkan unit loss production.

DAFTAR RUJUKAN

- Aggarwal, R., et al. 1993. The After Market Performance of Initial Public Offerings in Latin. America. Financial Management. Vol. 22, pp: 42-53.
- George ML. 2002. Lean Six Sigma. New York: Mc GrawHill.
- Hendry, J. (2020). The Orient strikes back: A global view of cultural display. Routledge.
- Ike, Chie & Sheu, Chwen. 2005. Integrating Six Sigma and theory of constraints for

- continuous improvement: A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 16. 542-553. 10.1108/17410380510600518.
- Jeffrey K, L. dan Meier D., 2007. *The Toyota Way Fieldbook: Panduan untuk mengimplementasikan model 4P toyota*. diterjemahkan oleh : Penerbit Erlangga, Jakarta
- Moubray, John. 1997 'Reliability Centered Maintenance, Second Edition', New York: Industrial Press Inc
- Nakajima, S., 1988. *Introduction to Total Productive Maintenance*, Productivity Press Inc, Portland, p. 21.
- Palimirna, 2009: Kelemahan Total Quality Management (TQM) Versus Six Sigma.html, <http://www.managementfile.com/journal.php?id=64&sub=journal&page=quality>, di akses 7 Oktober 2011. (Pawesti, 2005).
- Pawesti, G, H., (2005), Analisis Kerusakan Mesin untuk Menentukan Penjadwalan Perawatan Komponen Kritis Berdasarkan MTTF (Mean Time To Failure) dengan Pendekatan Reability, Teknik Manajemen Industri, IST. AKPRIND, Yogyakarta
- Pitana, T. (1998). Aplikasi FMEA Dan FTA Dalam Evaluasi Keandalan Sistem Pelumasan Dan Kontrol Turbin Uap PT PLN PJB II PLTGU Sektor Gresik (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Susanto, A. D., & Azwir, H. H. (2018). Perencanaan Perawatan Pada Unit Kompresor Tipe Screw Dengan Metode RCM di Industri Otomotif. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 17(1), 21-35.