

REDUKSI WASTE DAN PERBAIKAN PENGGUNAAN ENERGI PADA PROSES PRODUKSI *COLD ROLLED COIL* DI PT KRAKATAU STEEL DENGAN PENDEKATAN METODOLOGI *LEAN SIX SIGMA*

Afham Wahyu Agung dan Ir. Hari Supriyanto, MSIE
Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: hariqive@ie.its.ac.id

Abstrak—PT Krakatau Steel (persero) Tbk. merupakan salah satu BUMN manufaktur baja terbesar di Indonesia dengan salah satu produk PT KS yaitu *cold rolled coil* (CRC). Demi memenangkan persaingan, PT KS mempertimbangkan perbaikan supaya proses produksi CRC semakin baik dan efisien. Permasalahan yang umum dihadapi pabrik antara lain produk yang cacat dan sering terjadinya *breakdown* pada beberapa mesin produksi CRC. Metode *lean six sigma* digunakan untuk menangani masalah tersebut dengan target mereduksi pemborosan atau waste dan mengurangi *non-value-added activity* akibat pemborosan yang teridentifikasi. Teridentifikasi masalah terkait produk *coil* cacat (*defect*) dan waktu *breakdown* yang tinggi pada beberapa mesin (*waiting*). Produk *coil* cacat dapat dikaitkan dengan pemakaian energi listrik dan gas, sedangkan *waiting* berkaitan dengan biaya yang dikeluarkan per jamnya. Berdasarkan hasil analisis, dirumuskan tiga alternatif perbaikan dengan delapan kombinasi penerapan alternative. Kombinasi alternatif terpilih yaitu mengadakan *on-site training* untuk operator mesin dan staf maintenance serta menerapkan *checksheet* pemeliharaan dan penggantian *spare part*. Target dari penerapan alternatif perbaikan tersebut yaitu menurunkan jumlah *coil* cacat yang berdampak pada penggunaan energi dan menekan waktu *breakdown* pada mesin-mesin kritis.

Kata Kunci—*Lean six sigma, waste, improvement, energi*

I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki beberapa perusahaan BUMN di bidang manufaktur baja, salah satunya PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. (selanjutnya disebut PT KS). PT KS didirikan pada 31 Agustus 1970 dan menjadi BUMN manufaktur baja terbesar di Indonesia. PT KS berlokasi di kawasan Krakatau Industrial Estate Cilegon Jalan Raya Industri, Kota Cilegon, Banten. Salah satu produk yang dihasilkan PT KS yaitu *cold rolled coil* (CRC). CRC merupakan salah satu produk baja lembaran/gulungan dingin yang diproduksi oleh pabrik *Cold Rolling Mill* (CRM) PT KS. Spesifikasi ketebalan produk CRC antara 0,20 – 3,00 mm. Produk ini umumnya menjadi bahan baku untuk industri manufaktur lain, seperti otomotif, peralatan rumah tangga, properti dan industri lain yang menggunakan bahan baku plat baja.

Proses yang dilalui cukup panjang serta melibatkan banyak mesin yang mengkonsumsi banyak energi. Saat ini PT KS sedang mencoba mempertimbangkan berbagai cara yang bertujuan untuk membuat operasional berjalan lebih efisien dan meningkatkan daya saing perusahaan di tengah industri

baja Indonesia. Melakukan perbaikan pada proses produksi CRC salah satu cara yang dipertimbangkan oleh perusahaan untuk menghilangkan pemborosan yang tidak diperlukan dan akhirnya mencapai operasional yang efisien.

Berdasarkan identifikasi awal terdapat beberapa permasalahan yang berpotensi untuk diperbaiki. Masalah pertama yang teridentifikasi yaitu *defect*. Sebagai perusahaan manufaktur, *defect* merupakan risiko aktivitas produksi yang hampir pasti terjadi. Produk *coil* juga berisiko mengalami cacat. Selama tahun 2015, produk *coil* diproduksi sebanyak 588.756 ton dengan 13.095 ton atau 2,22% diantaranya merupakan produk *defect*. Jumlah *defect* tersebut tentu akan berkontribusi pada konsumsi energi dan menyebabkan loses secara finansial bagi perusahaan. Sejumlah energi digunakan untuk proses produksi yang menargetkan sejumlah produk sukses namun hanya menghasilkan produk *defect* akan dirasakan perusahaan sebagai kerugian secara tidak langsung.

Selain masalah *defect*, masalah lain yang teridentifikasi yaitu tingginya waktu *breakdown* pada beberapa mesin. Waktu *breakdown* atau disebut *waiting time*, karena proses tidak dapat berjalan dan hanya dapat menunggu. Setiap mesin pasti pernah mengalami *breakdown*, namun lama waktu *breakdown* akan menjadi masalah bila terlalu tinggi. Perusahaan mengalami kerugian karena ada biaya yang harus dikeluarkan, seperti biaya perbaikan, biaya *spare part*, biaya pegawai yang menganggur, dan biaya-biaya lainnya. Biaya tersebut akan ditanggung perusahaan dari setiap jam waktu *breakdown* yang terjadi. Bahkan akan berdampak pada terganggunya kelancaran aliran proses. Pemenuhan order ke pelanggan pun berisiko terganggu jika sampai terjadi *breakdown* yang berkepanjangan.

Masalah-masalah yang teridentifikasi berpotensi untuk diperbaiki. Penelitian ini mengikuti sistematika DMAIC Six Sigma, salah satu metode atau tahapan *quality improvement* yang umum digunakan. Tahapan *quality improvement* diawali dengan identifikasi *waste, value-added* dan *non-value-added process* dengan pendekatan *Lean*. Tahapan tersebut dikolaborasi dengan metode *Six Sigma* untuk menghitung nilai *sigma* saat ini dan mengidentifikasi *waste* kritis sebagai masalah utama untuk diselesaikan dengan alternatif perbaikan. Metode *Lean Six Sigma* dinilai cocok untuk diterapkan pada PT KS karena PT KS merupakan perusahaan manufaktur baja yang macam pelanggan serta jumlah produk yang dihasilkan

sangat besar, mendekati sejuta ton produk per tahunnya.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini mengikuti tahapan *quality improvement* DMAIC Six Sigma yang terdiri dari fase *define, measure, analyse, improvement, dan control*.

A. Define

Pada tahap ini didefinisikan masalah dengan lebih terperinci seperti potensi *waste* dan *activity*. Sumber yang digunakan dapat berupa diskusi dengan pihak internal perusahaan yang berkompeten pada bidang tersebut.

B. Measure

Setelah berdiskusi, dilakukan pengumpulan data yang dibutuhkan. Data yang didapatkan kemudian diolah menjadi informasi yang menunjang pembuktian permasalahan dan analisis permasalahan. Dilakukan perhitungan performa saat ini, nilai *waste* dan nilai *sigma*. *Waste* yang kritis dipilih untuk dilakukan analisis penyebabnya.

C. Analyse

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap data-data yang telah dihitung pada tahap sebelumnya. Penyebab permasalahan pada objek amatan dipetakan dalam *root cause analysis* (RCA). *Failure mode effect analysis* (FMEA) digunakan untuk memilih penyebab permasalahan berdasarkan nilai *risk priority*.

D. Improvement

Setelah menganalisis permasalahan, dilakukan penyusunan alternatif perbaikan. Penyusunan alternatif perbaikan didasari oleh analisis penyebab masalah dengan RCA dan FMEA. Penyusunan beberapa alternatif perbaikan dengan detail alternatif dan perhitungan biaya *improvement*. Alternatif terbaik dipilih dengan mempertimbangkan sudut pandang perusahaan yang diwakili oleh pihak terkait.

E. Control

Pada fase ini disarankan beberapa cara kontrol yang dapat diterapkan untuk alternatif perbaikan yang terpilih.

III. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

A. Definisi Objek Amatan

Cold Rolled Coil merupakan produk baja gulungan dingin yang diproduksi oleh pabrik *Cold Rolled Coil* di PT KS. Sesuai dengan namanya, baja gulungan ini diproses menggunakan teknik penggulangan bersuhu rendah untuk mereduksi ketebalan lembaran baja. Bahan baku produk CRC merupakan *Hot Rolled Coil* yang diproduksi menggunakan teknik penggulangan bersuhu tinggi untuk mereduksi ketebalan lembaran baja. Perbedaan antara produk CRC dan HRC yaitu produk CRC memiliki ketebalan yang lebih tipis dibandingkan dengan HRC. Produk CRC PT KS dapat dikelompokkan berdasarkan ukurannya, yaitu:

- Lite dengan ketebalan 0,2 – 0,22 mm,
- Medium dengan ketebalan 0,23 – 0,6 mm

- Heavy dengan ketebalan 0,61 - 3,00 mm.

CRC diproduksi untuk berbagai perusahaan di banyak sektor. Produk lanjutan yang menggunakan CRC sebagai bahan baku seperti plat body kendaraan bermotor, body component kompor, microwave, oven, serta atap dan dinding baja ringan.



Gambar 1. Produk *Cold Rolled Coil* Sebelum Dikemas

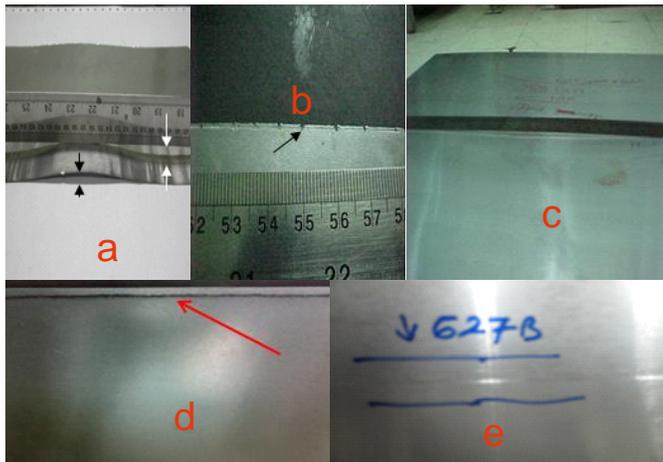
Proses produksi CRC melibatkan berbagai mesin. Proses pembersihan bahan baku menggunakan mesin *Continuous Pickling Line* (CPL). Bahan baku dicuci dari kotoran dan karat yang muncul pada bahan baku selama penyimpanan di gudang. Setelah menyelesaikan proses pencucian, dilanjutkan dengan proses reduksi ketebalan coil dengan teknik *cold rolled* di mesin *Continuous Tandem Cold Mill* (CTCM). Proses reduksi yang dilakukan mencapai 90% dari ketebalan input bahan baku. Produk yang telah menyelesaikan proses reduksi ketebalan di mesin CTCM akan melanjutkan ke proses pembersihan di mesin *Electrolytic Cleaning Line* (ECL). Proses pembersihan ini bertujuan untuk menghilangkan lapisan minyak dan oli yang digunakan pada proses sebelumnya menggunakan teknik elektrolisis. Sifat material akan diperbaiki dengan proses pemanasan di mesin *Batch Annealing Furnace* (BAF). Suhu yang digunakan berkisar antara 710oC. Setelah dipanaskan sekitar 27 jam, coil diturunkan suhunya dengan cepat. Produk dipindahkan untuk menjalankan proses selanjutnya, yaitu *rolling* di mesin *Temper Pass Mill* (TPM). Proses ini bertujuan untuk memperbaiki bentuk dan permukaan lembaran baja. Selanjutnya memasuki CR Finishing Line dimana coil akan melalui mesin yang memiliki alat ukur dimensi dan massa, untuk memberikan lapisan oli pada permukaan coil dan merapikan sisi-sisi coil bila dibutuhkan. Setelah melalui CR Finishing Line selanjutnya akan keluar untuk disimpan di gudang akhir.

B. Fase Define

1) Identifikasi *Waste Defect*

Pada produk CRC PT KS terdapat beberapa *defect* yang ditemukan dan membuat produk tidak sesuai dengan spesifikasi. Pemotongan akan dilakukan pada bagian *coil* yang terdapat *defect*. Terdapat 5 karakteristik *defect* yang muncul pada produk CRC, yaitu sisi *coil* bergelombang, sisi *coil* bergerigi, permukaan *coil* bergelombang, permukaan *coil*

berwarna abu-abu kehitaman, dan goresan di permukaan *coil*. Data tonase *defect* selama tahun 2015 ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 2 Karakteristik *defect* a) sisi *coil* bergelombang b) sisi *coil* bergerigi c) permukaan *coil* bergelombang d) warna abu-abu kehitaman pada permukaan *coil* e) Goresan pada permukaan *coil*

Tabel 1. Data Tonase *Defect* Per Karakteristik Tahun 2015

Keterangan	Jumlah (ton)
Sisi <i>coil</i> bergelombang	241
Sisi <i>coil</i> bergerigi	4.182
Permukaan <i>coil</i> bergelombang	440
Permukaan <i>coil</i> berwarna abu-abu kehitaman	2.892
Goresan-goresan dipermukaan <i>coil</i>	5.340
Total defect	13.095
Total produksi	588.756

2) Identifikasi *Waste Waiting*

Waiting merupakan *waste* yang terjadi akibat mesin yang berhenti melakukan proses produksi. Proses produksi di pabrik CRM PT KS berhenti karena beberapa hal, antara lain preventive *maintenance* dan *breakdown*. Preventive *maintenance* merupakan waktu terjadwal dan dialokasikan untuk melakukan perawatan untuk mesin dan peralatan sehingga tidak dihitung sebagai pengeluaran yang merugikan. *Breakdown* merupakan waktu yang terjadi tanpa direncanakan oleh pabrik akibat terjadinya kerusakan pada mesin. Berhentinya mesin di luar rencana ini menimbulkan kerugian bagi perusahaan karena mengganggu jadwal produksi. Data *breakdown* ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data Waktu Kerja dan Waktu *Breakdown* Per Mesin Tahun 2015

Mesin	Working time (menit)	Breakdown (menit)
CPL	493.962	95.525
CTCM	485.158	158.066
ECL 1	512.306	22.874
ECL 2	516.085	22.874
BAF	514.080	13.313
TPM	507.141	53.622
REC	503.848	25.141
PRP	511.231	15.270

C. Fase *Measure*

1) *Waste Defect*

Berdasarkan definisi *waste defect* pada fase *define*, didefinisikan lima karakteristik *defect* menjadi lima CTQ yang menunjukkan produk mengalami *defect*. Bila karakteristik tersebut muncul, produk akan dikatakan sebagai *defect*. Data tonase *defect* ditunjukkan tabel 1 . Dengan jumlah *defect* sebesar 13.095 ton dari total produksi 588.756 ton, nilai *sigma waste defect* sebesar 4,12. Perhitungan nilai *sigma* dari *waste defect* ditunjukkan pada tabel 3 .

Tabel 3. Nilai *Sigma Waste Defect*

Keterangan	Nilai
Total tonase	588.756
Tonase cacat	13.095
Cacat per tonase	2,22%
CTQ	5
DPO	0,004448439
DPMO	4448,438547
<i>Sigma</i>	4,12

Kerugian yang ditanggung perusahaan berupa kontribusi *defect* terhadap konsumsi listrik. Jumlah *defect* sebesar 13.095 menggunakan listrik sebesar 3.452.831 kWh dari total 155.237.883 kWh yang digunakan keseluruhan dan membutuhkan gas 4.124.995.694 kKcal dari total 185.458.140.000 kKcal yang digunakan keseluruhan. Kerugian akibat *defect* secara finansial sebesar Rp 6.914.399.752,-.

2) *Waste Waiting*

Berdasarkan data yang dijabarkan pada tabel 2 dipilih tiga mesin kritis untuk dianalisis lebih lanjut karena tingkat utilisasinya di bawah 90%. Mesin kritis yang terpilih yaitu mesin CPL, CTCM, dan TPM. Nilai *sigma* dari tiga mesin kritis tersebut ditunjukkan pada tabel 4 . Diketahui *sigma* mesin CPL sebesar 2,37, mesin CTCM sebesar 1,95, dan mesin TPM sebesar 2,75. Biaya yang ditanggung akibat terjadinya *breakdown* ini yaitu Rp 18.602.192.954 untuk mesin CPL, Rp 55.467.427.314 untuk mesin CTCM, dan Rp 6.851.348.397 untuk mesin TPM. Kegugian akibat *waiting* dari tiga mesin kritis secara finansial sebesar Rp80.920.968.665,-

Tabel 4. Nilai *Sigma Waste Waiting* Tiga Mesin Kritis

Keterangan	Mesin CPL	Mesin CTCM	Mesin TPM
Working time	493.962	485.158	507.141
Downtime	95.525	158.066	53.622
Waiting per Unit	0,19	0,33	0,11
CTQ	1	1	1
DPO	0,19	0,33	0,11
DPMO	193385,32	325803,14	105733,91
<i>Sigma</i>	2,37	1,95	2,75

D. Pemilihan *Waste* Kritis

Hasil perhitungan pada fase *measure* dijadikan dasar dalam menentukan *waste* kritis yang akan menjadi prioritas untuk diselesaikan akar masalahnya. Cara ini merupakan cara pemilihan yang objektif karena berdasarkan dampak yang ditimbulkan dari suatu *waste*. Diketahui terdapat dua *waste* yang memberikan dampak finansial signifikan bagi perusahaan, yaitu *waste defect* dan *waiting*. *Waste* lain tidak dilakukan analisis lebih lanjut dan dianggap tidak berdampak signifikan berdasarkan alasan yang telah dijelaskan pada fase *measure*. Diketahui bahwa *waste defect* mengakibatkan kerugian sebesar Rp 6.914.399.752 dan *waste waiting* mengakibatkan kerugian sebesar Rp 80.920.968.665. Kedua *waste* tersebut selanjutnya akan dianalisis akar penyebab permasalahannya.

Tabel 5. *Waste* Terpilih dan Detail Kerugian Finansial

<i>Waste</i>	Jumlah	Kerugian Biaya (Rp)
<i>Defect</i>	13.095 ton	6.914.399.752
Mesin CPL	1.592 jam	18.602.192.954
<i>Waiting</i>	2.634 jam	55.467.427.314
Mesin TPM	894 jam	6.851.348.397
Total		87.835.368.416

IV. ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

A. Fase Analyse

Pada tahap analisis dilakukan pencarian penyebab permasalahan menggunakan metode *Root Cause Analysis 5 Why's*. Akar penyebab masalah dari setiap *waste* digunakan untuk menyusun *Failure Mode Effect Analysis*. Penyusunan FMEA menggunakan kriteria *severity*, *occurrence*, dan *detection*, yang berbeda masing-masing *waste*. FMEA mengasalkan *action taken* untuk mengatasi masing-masing *potential cause of failure*. Terdapat beberapa *action taken* yang sejenis sehingga dapat dijadikan satu aktivitas perbaikan.

B. Fase Improvement

Berdasarkan hasil FMEA dan *action taken* yang didapat, dirumuskan tiga alternatif perbaikan sebagai berikut:

1. Mengadakan *On-site training* untuk Operator Mesin dan Staf *Maintenance*
2. Menerapkan *Checksheet* Pemeliharaan dan Penggantian *Spare part*
3. Menerapkan *Checksheet* Pengecekan Bahan Baku Awal dan Akhir Proses

Ketiga alternatif perbaikan yang telah dirumuskan dapat dibuat kombinasi dalam penerapannya. Kombinasi penerapan alternatif yaitu alternatif 0 (tidak dilakukan perbaikan), alternatif perbaikan 1, alternatif perbaikan 2, alternatif perbaikan 3, alternatif perbaikan 1 dan 2, alternatif perbaikan 1 dan 3, alternatif perbaikan 2 dan 3, serta alternatif perbaikan

1, 2, dan 3. Terdapat delapan kombinasi penerapan alternatif perbaikan yang dapat dipilih. Pemilihan alternatif perbaikan menggunakan *value engineering*. Tabel 6 menunjukkan pemilihan alternatif perbaikan.

Tabel 6. *Value Engineering* Pemilihan Alternatif Perbaikan

Kombinasi	Performansi		Performance	Biaya	Value
	A ^a	B ^b			
	0,3	0,7	104.550.760		
0	32	33	32,7	3.418.809.858	1
1	34	35	34,7	3.438.309.858	1,06
2	38	34	35,2	3.433.309.858	1,07
3	32	37	35,5	3.433.309.858	1,08
1, 2	39	42	41,1	3.450.809.858	1,25
1, 3	39	38	38,3	3.443.309.858	1,16
2, 3	39	37	37,6	3.443.309.858	1,14
1, 2, 3	39	40	39,7	3.455.809.858	1,20

^aA – Karakteristik Performansi Jumlah Tonase *Defect*

^bB – Karakteristik Performansi Jumlah Waktu *Breakdown*

Berdasarkan hasil pemilihan menggunakan *value engineering* didapat alternatif perbaikan terpilih yaitu kombinasi alternatif 1 dan 2 dengan biaya Rp3.450.809.858. Kombinasi alternatif 1 dan 2 dipilih karena memiliki *value* tertinggi. *Value* mempertimbangkan performansi dan biaya terkait penerapan alternatif perbaikan. Aktivitas perbaikan yang dilakukan pada alternatif 1 dan 2 yaitu mengadakan *on-site training* untuk operator mesin dan staf *maintenance* dan menerapkan *checksheet* pemeliharaan dan penggantian *spare part*. Bila merujuk kepada FMEA, melakukan *on-site training* akan meningkatkan kemampuan operator dalam melakukan tugasnya. Frekuensi kesalahan dalam melakukan setting dan kontrol mesin yang dibuat operator diharapkan berkurang sehingga terjadinya *defect* dapat dihindari meski kejadiannya tidak dapat dihilangkan keseluruhan. Perbaikan *checksheet* diterapkan dengan menambahkan satu kolom khusus untuk dipilih operator atau staff terkait yang menggambarkan kondisi mesin atau aktivitas berupa keterangan kualitatif. Pada *checksheet* awal sudah terdapat kolom-kolom berisi kriteria data kuantitatif seperti tekanan oli, level oli, temperature, dan lain sebagainya serta standard dari masing-masing kriteria. Selain itu keberadaan keterangan tersebut dapat ditelusuri dan dilihat perubahan statusnya selama waktu tertentu.

Penerapan kombinasi alternative 1 dan 2 menghasilkan suatu peningkatan, ditandai dengan berkurangnya tonase *defect* dan berkurangnya waktu *breakdown*. Peningkatan tersebut dapat tercapai bila terpenuhi beberapa kondisi, antara lain operator mampu melakukan setting dan kontrol mesin sesuai dengan prosedur yang ditetapkan sehingga tingkat ketidaksesuaian operator dalam melakukan operasi atau setting mesin yang menurun, aktivitas pemeliharaan dan perbaikan dilakukan dengan disiplin dan teratur berdasarkan prosedur dan *checksheet* sehingga berjalan optimal, dan frekuensi terjadinya *breakdown* dan waktu total *breakdown* setelah perbaikan berkurang dibandingkan dengan kondisi awal.

1) Perbaikan *Waste Defect*

Pihak perusahaan memperkirakan peningkatan yang terjadi setelah penerapan alternatif perbaikan 1 dan 2 sebesar 20%

untuk *waste defect*. Terjadi penurunan *waste defect* sebesar 20% dari semula sebesar 13.095 ton menjadi 10.476 ton dengan detail jumlah per karakteristik *defect* ditunjukkan pada tabel 7 . Penurunan tonase *defect* berpengaruh terhadap jumlah kontribusi *defect* terhadap energi listrik dan gas. Pada kondisi awal, jumlah *defect* sebesar 13.095 menggunakan listrik sebesar 3.452.831 kWh dari total 155.237.883 kWh yang digunakan keseluruhan dan membutuhkan gas 4.124.995.694 kKal dari total 185.458.140.000 kKal yang digunakan keseluruhan. Setelah perbaikan, *defect* sebesar 10.476 ton mengkonsumsi energi listrik sebesar 2.762.265 kWh dan gas sebesar 3.299.996.555 kKal. Terjadi pengurangan sebesar 690.566 kWh untuk konsumsi listrik dan 824.999.139 kKal untuk konsumsi gas. Kerugian biaya yang ditanggung menjadi Rp5.531.519.801, atau berkurang sebesar Rp1.382.879.950 dari kerugian awal.

Tabel 7. Perubahan Jumlah *Defect* Setelah Perbaikan

Karakteristik <i>Defect</i>	Tonase <i>Defect</i> Awal (ton)	Tonase <i>Defect</i> Perbaikan (ton)
Sisi <i>Coil</i> Bergelombang	241	193
Sisi <i>coil</i> bergerigi	4.182	3.346
Permukaan <i>coil</i> bergelombang	440	352
Permukaan <i>coil</i> berwarna abu-abu kehitaman	2.892	2.314
Goresan-goresan dipermukaan <i>coil</i>	5.340	4.272
Total	13.095	10.476

Tonase *defect* yang berkurang akan meningkatkan nilai *sigma* dari kondisi awal. Perhitungan nilai *sigma* perbaikan ditunjukkan pada tabel 8 .

Tabel 8. Nilai *Sigma* Perbaikan *Waste Defect*

Keterangan	Nilai
Total tonase	588.756
Tonase cacat	10.476
Cacat per Tonase	1,78%
CTQ	5
DPO	0,003558751
DPMO	3558,750837
<i>Sigma</i>	4,19

Pada kondisi awal nilai *sigma* sebesar 4,12 sedangkan nilai *sigma* perbaikan sebesar 4,19. Terjadi peningkatan nilai *sigma* sebesar 0,07.

2) Perbaikan *Waste Waiting*

Perusahaan memperkirakan peningkatan yang terjadi setelah penerapan alternatif perbaikan 1 dan 2 yaitu sebesar 25%. Terjadi penurunan waktu *breakdown* dari masing-masing mesin kritis. Uraian perbaikan waktu *breakdown* ditampilkan pada tabel 9 .

Tabel 9. Waktu *Breakdown* Sebelum dan Setelah Perbaikan

Proses	Mesin	Waktu <i>Breakdown</i> Awal (jam)	Waktu <i>Breakdown</i> Perbaikan (jam)
Pembersihan bahan baku dan oiling	CPL	1.592	1.194
Reduksi Ketebalan <i>Coil</i>	CTCM	2.634	1.976
Perbaikan Pola, Tekstur, dan Reduksi Ketebalan <i>Coil</i>	TPM	894	670

Terjadi pengurangan waktu *breakdown* kira-kira sebesar 398 jam untuk mesin CPL, 659 jam untuk mesin CTCM, dan 223jam untuk mesin TPM. Waktu *breakdown* yang berkurang akan berpengaruh terhadap kerugian finansial yang ditanggung perusahaan. Perbandingan kerugian finansial sebelum dan setelah penerapan alternatif perbaikan ditunjukkan pada tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Kerugian Finansial *Waste Waiting*

Mesin	Kerugian awal (Rp)	Kerugian Setelah Perbaikan (Rp)	Selisih
CPL	18.602.192.954	13.951.644.715	4.650.548.238
CTCM	55.467.427.314	41.600.570.485	13.866.856.828
TPM	6.851.348.397	5.138.511.298	1.712.837.099
Total	80.920.968.665	60.690.726.498	20.230.242.166

Terjadi penghematan biaya sebesar Rp20.230.242.166,- dari berkurangnya waktu *breakdown*. Waktu *breakdown* yang berkurang juga berpengaruh terhadap nilai *sigma* masing-masing mesin. Nilai *sigma* perbaikan ditunjukkan pada tabel 11.

Tabel 11. Nilai *Sigma* Perbaikan *Waste Waiting* Mesin Kritis

Keterangan	Mesin CPL	Mesin CTCM	Mesin TPM
Total tonase	493.962	485.158	507.141
Tonase cacat	71.644	118.550	40.217
Cacat per Tonase	0,1450390	0,2443524	0,0793004
CTQ	1	1	1
DPO	0,15	0,24	0,08
DPMO	145.038,99	244.352,36	79.300,43
<i>Sigma</i>	2,56	2,19	2,91

3) Perubahan Aktivitas Produksi

Penerapan alternatif perbaikan 1 dan 2 berdampak pada berkurangnya tonase *defect*. *Defect* berhubungan dengan *non-value activity* sehingga berkurangnya tonase *defect* akan memperbaiki *non-value activity* yang ada. Alternatif perbaikan 1 dan 2 berdampak mengurangi *defect*, namun tidak menghilangkan kejadian *defect*. *Defect* setelah perbaikan masih tetap muncul dengan tonase yang lebih rendah dibanding kondisi awal.

Proses yang terjadi pada mesin TPM bertujuan untuk memperbaiki *defect* yang muncul pada produk sebelum masuk finishing line sehingga dikatakan berhubungan dengan keberadaan *defect*. *Non-value-added activity* tetap terjadi

karena alternatif perbaikan mengurangi *defect* bukan menghilangkan keseluruhan *defect*. Dampak nyata dari berkurangnya tonase *defect* yaitu frekuensi dilakukannya aktivitas perbaikan pola, tekstur, dan bentuk *coil* berkurang. Frekuensi pada aktivitas tersebut akan berkurang namun tidak terlihat berubah dalam tabel aktivitas. Selain di mesin TPM, mesin CPL juga mendapatkan dampak berkurangnya frekuensi aktivitas yang berhubungan dengan penanganan *defect*.

Non-value added activity antri di *conveyor* pada mesin CR *Finishing Line* tidak berubah karena alternatif perbaikan tidak memberikan dampak kepada aktivitas mengantri tersebut. Aktivitas mengantri di *conveyor* dikategorikan *non-value-added* namun dianggap perlu dan wajar karena terjadi dengan jumlah sedikit, waktu yang relatif singkat, dan tidak menyebabkan *bottleneck*.

C. Fase Control

Pada fase kontrol ini dijelaskan beberapa cara yang dapat dipertimbangkan untuk dilakukan perusahaan setelah menerapkan alternatif perbaikan. Perusahaan perlu menerapkan kontrol secara konsisten untuk memastikan target perbaikan yang telah diperhitungkan sebelumnya dapat tercapai. Beberapa cara kontrol yang disarankan antara lain:

- Pabrik dapat menerapkan mekanisme pelaporan berkala secara langsung mengenai jalannya proses produksi selama shift tersebut kepada atasan terkait diluar laporan tertulis untuk menjamin penanggung jawab operasional yang lebih tinggi mendapatkan informasi terkini dengan lebih jelas.
- Pengawasan penerapan perbaikan *checksheet* dan prosedur yang diterapkan di perusahaan perlu dilakukan secara berjenjang kepada pejabat di bawahnya hingga level operator. Kedisiplinan dalam menjalankan prosedur yang benar dapat dibiasakan sebagai budaya kerja.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Pada tahap *define* dan *measure* diidentifikasi masalah pada proses produksi CRC di pabrik CRM PT KS yaitu *defect* dan *waiting*. *Waiting* pada proses produksi teridentifikasi pada semua mesin. Data total waktu *breakdown* dan perhitungan nilai *sigma* menunjukkan mesin dengan *waiting* paling kritis yaitu mesin CPL, mesin CTCM, dan mesin TPM.
- 2) Penyebab terjadinya *waste defect* yang paling signifikan yaitu pengawasan dan pemeliharaan, faktor mesin, dan faktor kualitas material. Sedangkan penyebab terjadi *waiting* yang signifikan yaitu kesesuaian dalam menjalankan prosedur dan masalah *spare part* mesin. *Waste defect* juga terbukti berkontribusi terhadap konsumsi energi listrik dan gas.
- 3) Alternatif perbaikan terpilih yaitu kombinasi alternatif 1 dan 2 dengan perbaikan berupa pelaksanaan *on-site*

training untuk operator dan *staff maintenance* yang bertujuan untuk pemerataan dan peningkatan kemampuan operator dalam melakukan tugas-tugas operasional, pemeliharaan, dan penggantian. Selain itu dilakukan juga desain ulang dan penerapan *checksheet* perbaikan untuk aktivitas pemeliharaan dan perbaikan serta *spare part* mesin.

- 4) Penerapan alternatif perbaikan 1 dan 2 berdampak pada tonase *defect* yang menurun sebesar 2.619 ton, waktu *breakdown* mesin CPL turun sebesar 398 jam, *breakdown time* mesin CTCM turun sebesar 398 jam, dan *breakdown time* mesin TPM yang turun sebesar 223 jam. Penurunan *waste* berdampak pada turunnya kontribusi *waste* terhadap energi listrik sebesar 690.566 kWh dan gas sebesar 824.999.139 kKal.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan antara lain:

- 1) Hasil analisis dan alternatif perbaikan dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi perusahaan untuk mulai melakukan kajian terkait performansi perusahaan serta pembaruan atau *upgrade* fasilitas produksi dengan pertimbangan usia mesin sudah tua.
- 2) Pabrik CRM PT KS bisa mulai melakukan komunikasi khusus untuk memberikan saran kepada pabrik HSM PT KS mengenai standard bahan baku dan menyepakati terkait standard bahan baku yang dikirim pabrik HSM ke pabrik CRM sehingga kualitas produk hasil pabrik CRM meningkat serta tidak mempermasalahkan kembali kaitan kualitas bahan baku buatan pabrik HSM dengan munculnya *defect*.
- 3) Jika tersedia data yang lebih lengkap, penelitian ini dapat dikembangkan untuk diterapkan di pabrik-pabrik lain yang dioperasikan PT KS dan berpotensi untuk mengidentifikasi masalah yang berbeda di pabrik yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Decker, B.J., 1969. A New Breed - The Value Managers. *Value Engineering*, 1(5), pp.279-82.
- [2] Dudek-Burlikowska, M., 2011. Application of FMEA Method in Enterprise Focused on Quality. *Journal of Achievement in Materials and Manufacturing Engineering*, 45(1), pp.89-102.
- [3] Duggett, A.M., 2004. A Statistical Comparison of Tree Root Cause Tools. *Journal of Industrial technology*, 20(2), pp.1-9.
- [4] Gaspersz, V., 2007. *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- [5] Harry, M.J. & Schroeder, R., 2000. *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. New York.
- [6] Hines, P. & Taylor, D., 2000. *Going Lean*. Cardiff, UK: Lean Enterprise Research Centre Cardiff Business School.
- [7] Indrawati, S. & Ridwansyah, M., 2015. Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application. *Industrial Engineering and Service Science*, pp.528-34.
- [8] Mahto, D. & Kumar, A., 2008. Application of Root Cause Analysis in Improvement of Product Quality and Productivity. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 01(02), pp.16-53.
- [9] Park, R.J., 1999. Failure Mode Effect Analysis. In *Value Engineering: A Plan For Invention*. Florida: CRC Press LLC. p.22.