



Peningkatan Kemampuan Proses Menggunakan Metode Six Sigma: Studi Kasus di Industri Pertambangan Batubara

Siti Aisyah^{1*}, Humiras Hardi Purba², Salmon Tampubolon², Choesnul Jaqin², Agus Suhendar², Hendra Adyatna²

¹Program Studi Teknik Industri Otomotif, Politeknik STMI Jakarta, Jl. Letjen Suprpto No.26, RT.10/RW.5, Cempaka Putih, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10510, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Universitas Mercu Buana, Jl. Raya, RT.4/RW.1, Meruya Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11650, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Artikel Masuk: 07 Oktober 2022
 Artikel direvisi: 11 Januari 2023
 Artikel diterima: 12 Februari 2023

Kata kunci

*Kemampuan Proses
 Pertambangan
 Six Sigma
 Variasi*

Keywords

*Process Capability
 Coal Mining
 Six Sigma
 Variation*

ABSTRAK

Salah satu jenis pemborosan yang masih cukup dominan dalam industri nasional adalah terjadinya proses atau produk atau kegiatan yang tidak memiliki nilai tambah. Pendekatan modern yang menggunakan statistik untuk mencapai tingkat cacat yang sangat rendah bahkan menuju nol cacat seperti metode DMAIC telah banyak diterapkan di Indonesia. Penerapan metode DMAIC yang terstruktur dan berkelanjutan akan mampu mengurangi tingkat kecacatan pada proses dan produk. Penurunan kualitas yang terjadi pada produksi di pertambangan batubara Indonesia, yang berapa tahun belakangan ini berkurang. Hal ini menyebabkan turunnya posisi Indonesia pada ekspor batubara. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kemampuan proses pada salah satu industri pertambangan batubara di Indonesia dengan menerapkan metode DMAIC berbasis Ilmu Statistika. Pendekatan yang digunakan adalah melalui tahapan terstruktur DMAIC dengan target keluaran pada setiap tahapan. Penerapan metode DMAIC dapat mengurangi variasi keluaran, sehingga tidak melebihi enam standar deviasi antara nilai rata-rata dan batas spesifikasi terdekat. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah peningkatan kappabilitas proses dari 2,25 sigma menjadi 2,52 sigma.

ABSTRACT

One type of waste still quite dominant in the national industry is the occurrence of defective processes, products, or activities that have no added value. Modern approaches that use statistics to achieve a very low defect rate and even zero defects, such as the DMAIC method, have been widely applied in Indonesia. The application of a structured and sustainable DMAIC method will be able to reduce defect rates in processes and products. The decline in quality has occurred in production in Indonesian coal mining, which has decreased in recent years. It causes a reduction in Indonesia's position in coal exports. This research aims to improve the process capability of one of the coal mining industries in Indonesia by applying the DMAIC method based on Statistics. The approach is through structured stages of DMAIC with output targets at each stage. Using the DMAIC method can reduce variations in the output so that it will not exceed the six standard deviations between the mean and the nearest specification limit. The results obtained in this study were an increase in process capability from 2.25 sigma to 2.52 sigma.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

* Penulis Korespondensi

Siti Aisyah
 E-mail:
lalita1712aisyah@gmail.com



© 2023. Some rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pengembangan sektor manufaktur yang dinamis mempunyai peran penting untuk kebutuhan transformasi struktural perekonomian Indonesia. Manufaktur adalah sumber utama lapangan kerja berkualitas dan kekuatan pendorong untuk pembangunan di sektor jasa. Selain itu, pengembangan fundamental untuk sektor manufaktur yang kompetitif seperti infrastruktur yang berkualitas, logistik yang baik, tenaga kerja yang terdidik, dan sistem peraturan yang baik dapat bermanfaat untuk kegiatan bernilai tambah tinggi yang memerlukan dukungan serupa. Salah satu faktor yang paling penting dalam suatu industri adalah tingkat cacat. Metode *six sigma* telah banyak menjadi pusat perhatian dan diimplementasikan di industri mulai dari industri manufaktur hingga jasa (Utomo, 2020). Proses dan produk dengan tingkat cacat yang tinggi akan mengakibatkan biaya yang tinggi, sehingga akan sulit untuk mencapai tingkat produktivitas yang tinggi. Penerapan metode *Six Sigma* mampu memberikan dampak berupa pengurangan biaya hingga sekitar 80% (Trimarjoko et al., 2019). Metode *six sigma* diterapkan untuk mengurangi tingkat reject yang diindikasikan sebagai penyebab kerugian dalam suatu proses manufaktur. Melalui pendekatan metode *six sigma*, biaya harus terus ditekan atau bahkan dikurangi, terutama yang disebabkan oleh produk cacat dengan lima fase klasik: *define, measure, analyze, improve, dan control*. Penelitian Herlambang (2020), mengkonfirmasi penerapan metode *six sigma* DMAIC dapat digunakan sebagai pedoman untuk membuat kualitas produk yang tahan lama dan mengurangi variasi.

Kontribusi industri pertambangan dan penggalian terhadap PDB juga menurun. Pada triwulan II 2020 kontribusinya turun menjadi 6,28 persen, sedangkan pada periode yang sama tahun sebelumnya kontribusi industri pertambangan dan penggalian mencapai 7,39 persen dari total PDB (Badan Pusat Statistik, 2020). Industri pertambangan berada di bawah tekanan yang cukup besar seiring dengan merebaknya pandemi Covid-19 yang telah menyebar ke seluruh dunia, termasuk ke Indonesia. Selain Covid-19, indikator pelemahan komoditas batu bara disebabkan oleh turunnya harga batu bara, tuntutan pengelolaan lingkungan dan tanggung jawab sosial, isu pemanasan global, hilirisasi batubara, serta berkurangnya minat lembaga pembiayaan untuk mendukung sektor industri. Hingga Juli 2020, produksi batu bara Indonesia mencapai 271,35 juta ton, 49% dari rencana produksi 550 juta ton. Angka ini turun 12% dibandingkan 2019 dengan produksi 616 juta ton. Selain penurunan produksi, harga batu bara juga tergerus hingga level US\$50 per ton. Harga

batubara kemungkinan akan tergerus lagi atau stagnan di level \$50 jika tidak ada kontrol nasional atas produksi (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021). Harga jual beberapa komoditas mineral dan batubara berada pada level yang kurang menguntungkan, sedangkan tuntutan yang harus dipenuhi oleh pengelola sektor usaha masih cukup banyak, antara lain kepatuhan terhadap peraturan keselamatan dan kesehatan kerja, lingkungan, reklamasi, pasca-pertambangan, tanggung jawab sosial, dan kelangsungan bisnis tidak dapat diabaikan.

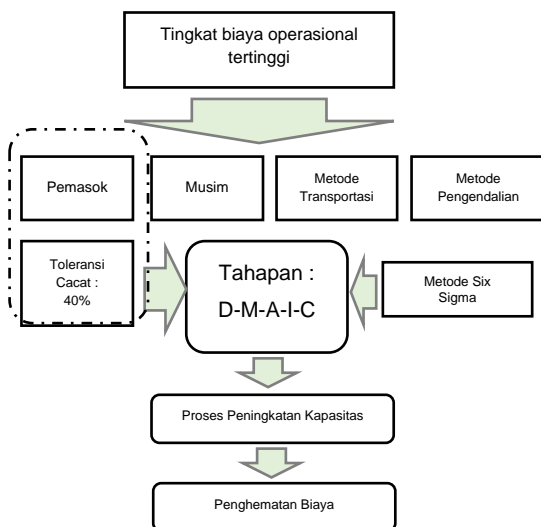
Daerah penghasil utama batubara di Indonesia adalah di Provinsi Kalimantan Timur, Sumatera Selatan, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Tengah. Pengelola sektor pertambangan perlu melakukan terobosan melalui pendekatan terstruktur berdasarkan statistik seperti *Six Sigma*. Kinerja perusahaan perlu terus ditingkatkan melalui perbaikan kemampuan proses, sehingga tingkat cacat (*defect*) menjadi kecil. Salah satu indikator perbaikan kemampuan proses adalah peningkatan nilai sigma. Melalui peningkatan nilai sigma yang naik 1,5 hingga menjadi 4,0 mampu mengurangi pengerjaan ulang sebesar 50% (Chabukswar et al., 2011). Peningkatan level *sigma* dari 1,59 menjadi 5,53 secara signifikan menurunkan pemborosan dan meningkatkan profit (Kaushik & Kumar, 2017).

Konsep *six sigma* dapat dilihat dari beberapa sudut pandang yaitu *six sigma* sebagai filosofi, *six sigma* sebagai alat perbaikan, *six sigma* sebagai strategi bisnis, dan *six sigma* sebagai ukuran statistik (Purba & Aisyah, 2017). Waktu siklus pada *rolling mill* dikurangi dari 47 hari menjadi 20 hari (Ganguly, 2012). Penelitian Ridwan et al. (2019), melaporkan peningkatan akurasi dari 34% menjadi 71% setelah penerapan metode DMAIC. *Six sigma* bekerja lebih cerdas, bukan lebih keras dengan membuat kesalahan semakin sedikit. *Six sigma* sebagai alat perbaikan berarti alat yang lengkap yang dapat digunakan dan diterapkan untuk desain, manufaktur, penjualan, layanan, transaksional, dan lain-lain (Nithyanandam & Pezhinkattil, 2014; Tampubolon & Purba, 2021). *Six sigma* sebagai strategi bisnis berarti dapat membantu memperoleh keuntungan dalam persaingan, dapat meningkatkan tingkat sigma yang berarti kualitas produk atau jasa lebih baik dan biaya yang tidak perlu akan berkurang sehingga pelanggan akan lebih puas. *Six sigma* merupakan pengukuran statistik yang memberikan informasi seberapa baik produk dan jasa serta proses yang ada di dalamnya (Gholap & Desai, 2012; Sharma et al., 2018; Trimarjoko et al., 2020). Penelitian Srinivasan et al., (2014), menghasilkan peningkatan nilai *sigma* dari 1,34 menjadi 2,01 diiringi pencapaian penghematan finansial sekitar Rs.0.34 juta per tahun.

Penerapan *six sigma* pada industri pertambangan berhasil menurunkan biaya operasional alat berat yang digunakan (Purba, 2016). Implementasi *six sigma* dapat menghemat biaya \$218,424 per tahun melalui penghematan penurunan energi 20, 816 kWh per tahun (Fatemi & Franchetti, 2016). Penelitian Wardana et al., (2015) menghasilkan peningkatan nilai *sigma* dari 2,98 menjadi 3,31 mengkonfirmasi bahwa *six sigma* cukup berhasil karena mampu mengurangi jumlah cacat. Fenomena yang terjadi saat ini adalah keterbatasan kemampuan memenuhi pasokan batubara yang disyaratkan > 4000 kalori yang disebabkan karena *defect* (cacat) yang masih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki kemampuan proses salah satu industri pertambangan batubara di Indonesia dengan menerapkan metode DMAIC berbasis ilmu statistika. Aplikasi ini diharapkan dapat menurunkan cacat yang masih tinggi. Hasil penelitian Manesi (2014), menunjukkan bahwa penerapan metode *six sigma* mampu menurunkan jumlah cacat produk. Perubahan nilai *sigma* sebesar 0,185 mampu memberikan usulan yang lebih baik dalam perbaikan kualitas benang 20S (Nurullah et al., 2014).

2. METODE PENELITIAN

Metode *six sigma* memiliki tahapan terstruktur yang dikenal sebagai DMAIC yang diterapkan sepanjang proses melalui peningkatan kapabilitas proses. Six Sigma mendefinisikan dan mengukur keadaan saat ini untuk dianalisis, ditingkatkan, dan dikendalikan untuk meningkatkan kemampuan proses yang berkelanjutan dan kepuasan pelanggan. Metode Six Sigma diterapkan mengikuti fase D-M-A-I-C. Metodologi penelitian ini digambarkan dalam kerangka penelitian yang disajikan pada Gambar 1.

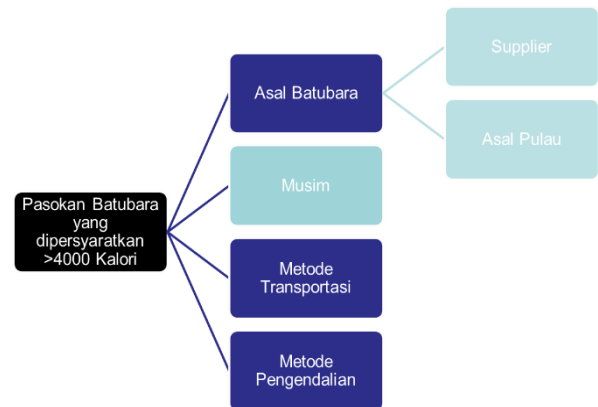


Gambar 1. Kerangka Berpikir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

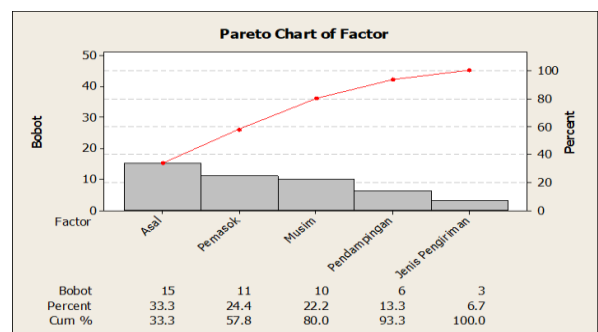
3.1. Define

Kinerja operasi akan optimal jika diberi pasokan batubara yang memenuhi spesifikasi kalori yang dipersyaratkan. Tingkat efisiensi unit dapat terukur dengan mengetahui berapa kalori bahan bakar untuk menghasilkan 1 KWH Listrik. Biaya operasi sebuah pembangkit 80% adalah biaya bahan bakar. Oleh karena itu efisiensi dari kinerja operasi fokus pada bagaimana pengelolaan penyediaan bahan bakar. Pasokan batubara yang dipersyaratkan adalah > 4000 kalori.



Gambar 2. Main Issue Voice of Customer

Kalori batubara memenuhi spesifikasi minimum dapat menghasilkan produktivitas yang baik, dan produktivitas sangat penting pada operasional pembangkit. *Main issue voice of customer* seperti asal/sumber batubara, musim, metode transportasi yang digunakan, dan metode pengendalian (Gambar 2). Pasokan asal batubara ditentukan oleh 2 aspek: supplier dan asal pulau. Diagram Pareto penyebab terjadinya permasalahan adalah asal batubara 33,3%; pemasok 24,4%; musim 22,2%; pendampingan 13,3%; jenis pengiriman 6,7% (Gambar 3).



Gambar 3. Diagram Pareto Penyebab Permasalahan

3.2. Measure

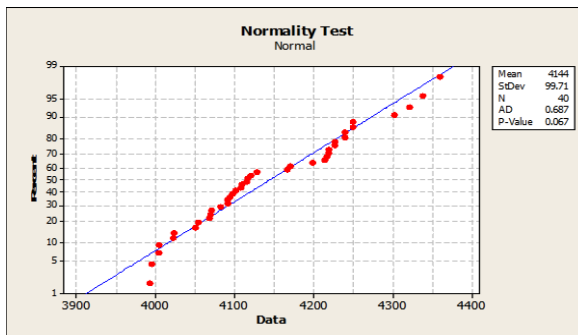
Tahap *Measure* dilakukan dengan melaku-

kan pengukuran kondisi awal pasokan kalori operator. Adapun data simulasi dilakukan terhadap Operator 1, Operator 2, Operator 3 dan Operator 4 (Tabel 1). Data-data tersebut selanjutnya dilakukan pengujian kenormalan (*normality test*) dengan *software* Minitab (Gambar 4).

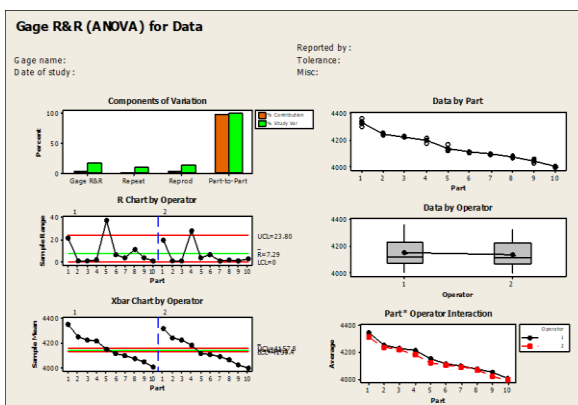
Tabel 1. Data Simulasi Operator

C1	C2	C3	C4
Operator 1-1	Operator 1-2	Operator 1-3	Operator 1-4
4359.22	4337.97	4320.87	4301.96
4249.90	4249.70	4239.33	4239.10
4226.44	4226.07	4219.14	4219.36
4216.35	4214.41	4198.25	4170.76
4166.07	4128.79	4120.06	4116.65
4114.99	4108.77	4107.75	4101.86
4097.00	4093.80	4091.02	4091.13
4082.06	4070.78	4069.36	4067.67
4053.66	4050.66	4022.61	4022.93
4004.49	4004.03	3995.34	3993.09

Hasil perhitungan *software* Minitab menunjukkan nilai P-value = 0,067, di mana nilai tersebut lebih besar daripada 0,05. Hal ini mengindikasikan bahwa data-data tersebut terdistribusi secara normal dan dapat dilanjutkan ke proses selanjutnya. Kondisi kemampuan proses saat ini (*current condition*) perlu diketahui melalui perhitungan nilai sigma (*Z-value*). Setelah data-data sudah terkonfirmasi normal, selanjutnya analisis Gage R&R (Gambar 5).



Gambar 4. Normality Test



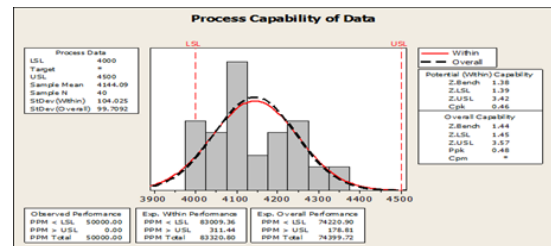
Gambar 5. Gage R&R Graph

Analisis Gauge R&R perlu memenuhi beberapa kriteria yaitu: (a) paling sedikit 2 orang operator (biasanya 2 ~ 3 operator), (b) paling sedikit 10 unit sampel yang diukur, (c) setiap unit diukur paling sedikit 2 kali oleh tiap operator, dan (d) kualifikasi operator yang akan mengukur harus sama. Hasil perhitungan *Gauge R&R* menunjukkan sudah memenuhi kriteria penerimaan Gage R&R antara lain: (a) % *Study Variance* (variasi dari semua komponen) sebesar 15,55 % (*acceptance standard*: $\leq 20\%$), (b) *Number of Distinct Categories-NDC* bernilai 8 (*acceptance standard*: > 4). Input data pada Tabel 1 pada *software* Minitab dimodifikasi sebagai Subgroup 1, Subgroup 2 dan seterusnya (Tabel 2).

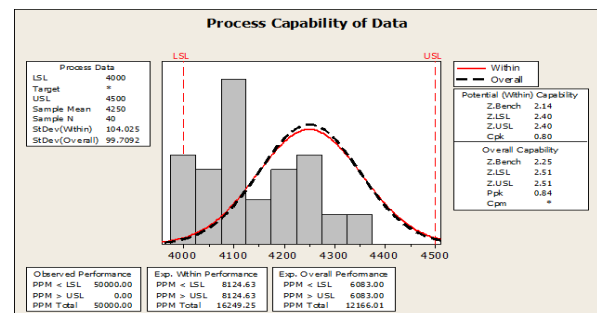
Tabel 2. Hasil Pengukuran

Subgroup1	Subgroup2	Subgroup3	Subgroup4
4359.22	4337.97	4320.87	4301.96
4249.90	4249.70	4239.33	4239.10
4226.44	4226.07	4219.14	4219.36
4216.35	4214.41	4198.25	4170.76
4166.07	4128.79	4120.06	4116.65
4114.99	4108.77	4107.75	4101.86
4097.00	4093.80	4091.02	4091.13
4082.06	4070.78	4069.36	4067.67
4053.66	4050.66	4022.61	4022.93
4004.49	4004.03	3995.34	3993.09

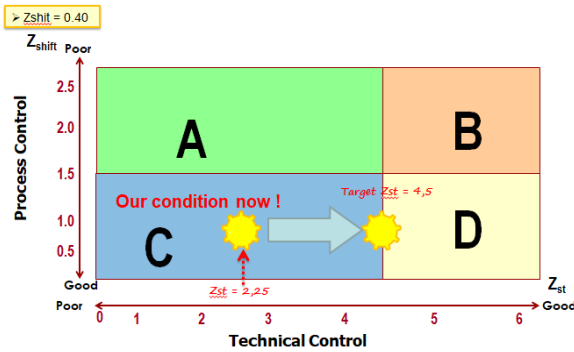
Kemampuan proses (*process capability*) setelah diproses dengan *software* Minitab memberikan nilai Z dengan *overall capability* nilai Z-Bench LT=1,44 (Gambar 6) dan Z-Bench ST=2,25 (Gambar 7). Dengan nilai Zshift = 2,25 - 1,44 = 0,81 posisi berada di Blok C yang berarti berada di level "poor" untuk *technical control*, dan "good" untuk *process control* (Gambar 8).



Gambar 6. Nilai Z-Bench LT



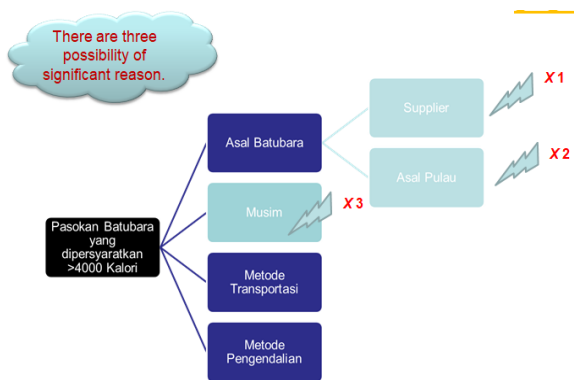
Gambar 7. Nilai Z-Bench ST



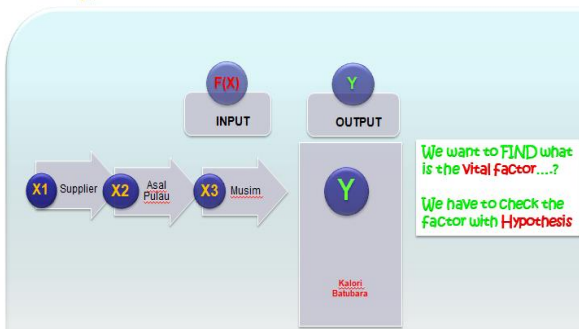
Gambar 8. Mapping Sigma Level

3.3. Analyze

Pada tahap ini akan didefinisikan *vital factor* di mana faktor potensial penyebab permasalahan terdiri dari: *supplier* (X1), asal pulau (X2), dan musim (X3) (Gambar 9). Dalam hal ini, X1, X2, dan X3 merupakan faktor *input* [F(X)] yang mempengaruhi Y (*output*) dalam hal ini jumlah kalori batubara. Selanjutnya ketiga faktor input harus diuji satu persatu untuk mengkonfirmasi apakah masing-masing merupakan *vital factor* atau tidak (Gambar 10).



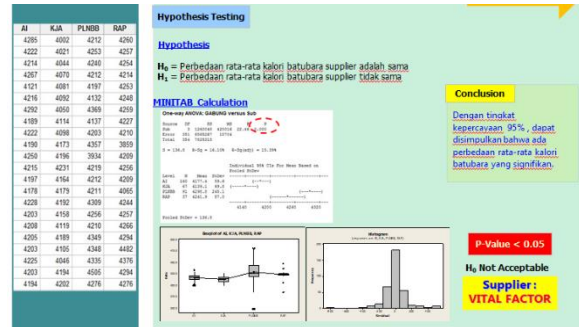
Gambar 9. Possibility of "X"



Gambar 10. Penyebab Permasalahan *Vital Factor*

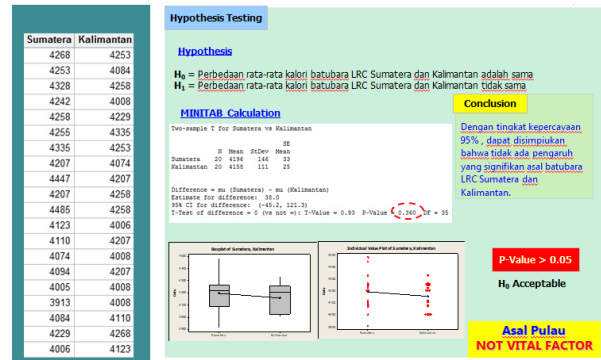
Supplier (X1) terdiri dari 4 (empat) supplier pemasok batubara yaitu: AI, KJA, PLNBB dan RAP dengan rata-rata kalori batubara setiap

supplier (Gambar 11). Hasil perhitungan *hypothesis testing* menunjukkan bahwa nilai P-value=0,000 (dalam hal ini nilai tersebut lebih kecil dari 0,05). Hipotesis Ho ditolak dan H1 diterima (perbedaan rata-rata kalori batubara *supplier* tidak sama). Hal ini dapat disimpulkan bahwa "*supplier*" merupakan *vital factor*.



Gambar 11. Analisis *Vital Factor* X1

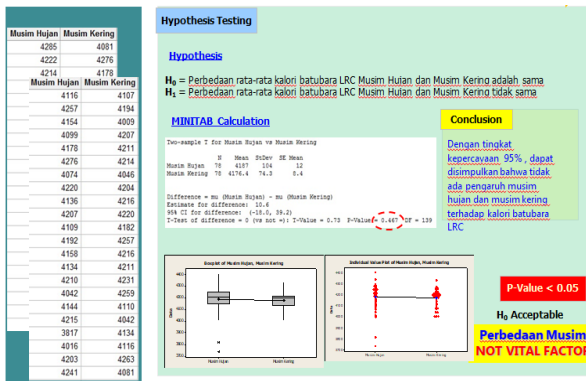
Asal pulau pasokan batubara (X2) terdiri dari dua: (1) Pulau Sumatera, dan (2) Pulau Kalimantan dengan masing-masing nilai kalori batubara (Gambar 12). Data-data hasil pengukuran tersebut kemudian diuji menggunakan *software* Minitab dan diperoleh nilai P-value=0,360. Nilai tersebut lebih besar dari 0,05 yang berarti hipotesis Ho diterima dan H1 ditolak, yang berarti perbedaan rata-rata kalori batubara dari Pulau Sumatera dan Kalimantan adalah sama. Hal ini dapat disimpulkan bahwa "*asal pulau*" bukan merupakan faktor vital (*not vital factor*).



Gambar 12. Analisis *Vital Factor* X2

Faktor perbedaan musim (X3) terdiri dari musim hujan, dan musim kering/kemarau dengan data-data nilai kalori seperti pada Gambar 13. Analisis dengan menggunakan *software* Minitab diperoleh nilai P-value=0,447. Nilai tersebut lebih besar dari 0,05 yang berarti hipotesis Ho diterima dan H1 ditolak, yang berarti perbedaan rata-rata kalori batubara pada musim hujan dan musim kering adalah sama. Hal ini dapat disimpulkan bahwa "perbedaan musim" bukan merupakan

faktor vital (*not vital factor*).



Gambar 13. Analisis Vital Factor X3

Dari tiga "Potensial X" yang sudah ditetapkan, ternyata setelah dilakukan pengujian terhadap nilai-nilai kalori yang diberikan, maka yang merupakan vital factor hanya 1, yaitu faktor *supplier* (Tabel 3). Selanjutnya, hanya X1 tersebut yang dilanjutkan ke tahap berikutnya, *improve*.

Tabel 3. Vital Factor Summary

"X" Potensi	Uji Statistik	Nilai - p	α	Kesimpulan
X1 = Pemasok	one way Anova	0,000	5%	X1 = Faktor vital
X2 = Asal Pulau	2 Sample T	0,360	5%	X2 – Bukan faktor vital
X3 = Perbedaan Musim	2 Sample T	0,467	5%	X3 = bukan faktor vital

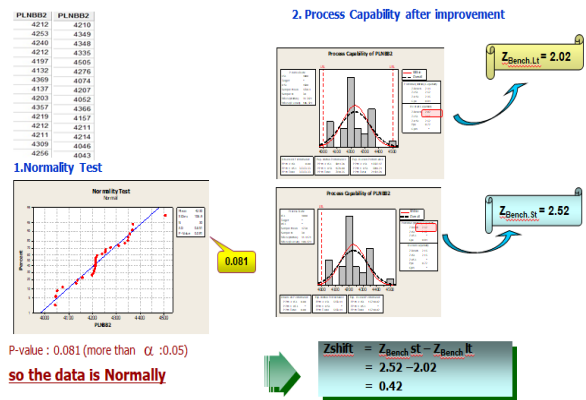
3.4. Improve

Hasil pengolahan data menunjukkan hanya dimiliki satu vital faktor maka kondisi optimum adalah dengan memilih item dari faktor vital tersebut yang memiliki rata-rata kalori tertinggi. Pada kasus ini rata-rata tertinggi adalah dari Supplier NBB sebesar 4298 KCal/Kg. Nilai penghematan biaya (*cost saving*) setiap bulannya sekitar IDR 1 Milyar (Tabel 4).

Tabel 4. Data Perhitungan Penghematan Biaya

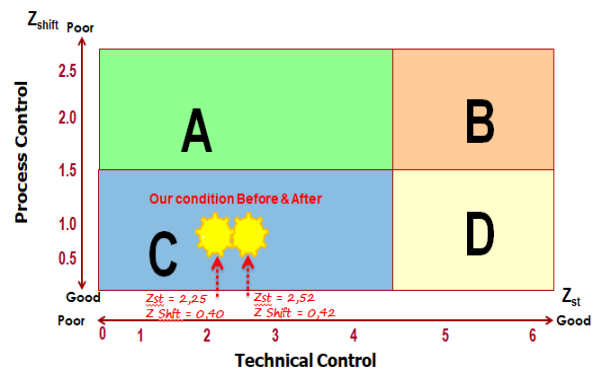
Sebelum		Sesudah	
KCal/Kg	4184	KCal/Kg	4298
Kg/Bulan	50.000.000	Kg/Bulan	48.673.800 Kg
KCal/Bulan	209.200.000	KCal/Bulan	209.200.000.000
	.000 KCal		KCal
Harga/Kg	IDR 750,-	Harga/Kg	IDR 750,-
Total	IDR 37,5	Total	IDR 36,5 Milyar
Harga/Bulan	Milyar	Harga/Bulan	

Perbaikan selanjutnya dilakukan perhitungan nilai-Z untuk mengetahui perubahan perbaikan *process capability* yang diperoleh. Melalui penggunaan *software* Minitab diperoleh nilai Z-Bench LT=2,02 dan nilai Z-Bench ST=2,52 dengan nilai geseran Z-Shift sebesar 0,42 (Gambar 14).



Gambar 14. Process Capability Improvement

Pemetaan nilai Z pada 4-block diagram setelah perbaikan mengalami peningkatan nilai "Technical Control" yang lebih baik (Gambar 15). Nilai Z (level sigma) terjadi peningkatan dari 2,25 menjadi 2,52, hal ini mengindikasikan telah terjadi peningkatan kemampuan proses.

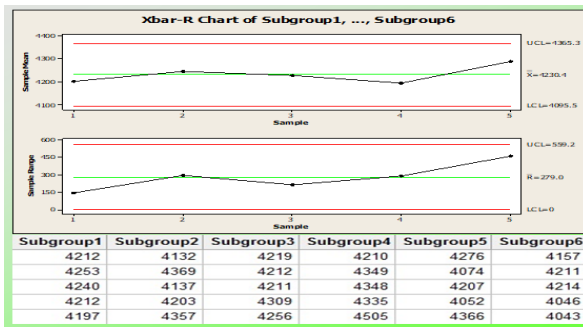


Gambar 15. Mapping Sigma Level Setelah Perbaikan

3.5. Control

Pada tahap kontrol dilakukan proses standarisasi agar mendapatkan batubara LRC dengan nilai kalori yang tinggi, maka harus dibuat metode seleksi dari *supplier-supplier* yang memiliki batubara yang berkali rata-rata lebih tinggi. Pada kasus ini supplier yang memberikan nilai kalori paling tinggi adalah NBB. Monitor chart dengan kondisi data pada improvement: *under control* (Gambar 16).

Sebagaimana penelitian-penelitian sebelumnya, penerapan metode *six sigma* dapat meningkatkan kemampuan proses yang diindikasikan dengan peningkatan nilai *sigma*. Peningkatan nilai *sigma* pada penelitian ini tidak terlalu signifikan (dari 2,25 menjadi 2,52), namun penghematan finansial yang berhasil dikonversi ke nilai rupiah yang cukup besar (Rp. 1 Milyar/bulan) mengkonfirmasi bahwa metode *six sigma* masih relevan diimplementasikan pada industri.



Gambar 16. Control dan Monitoring

4. KESIMPULAN

Penerapan metode *six sigma* berhasil menaikkan sigma level dari 2,25 menjadi 2,52. Langkah mendapatkan batubara LRC dengan nilai kalori yang tinggi dilakukan dengan membuat metode seleksi *supplier* yang memiliki batubara yang berkalori rata-rata lebih tinggi. Hasil seleksi *supplier* menunjukkan *supplier* yang memberikan nilai kalori paling tinggi adalah NBB. Hasil implementasi *improvement* menghasilkan *cost saving* sebesar Rp. 1 Milyar/bulan. Penelitian ini fokus pada pemenuhan keterbatasan pasokan batubara yang disebabkan oleh tingkat *defect* yang masih tinggi. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dari aspek biaya operasional yang kurang efisien atau aspek ketepatan waktu pasokan material ke mesin pembangkit.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2020). *Ekonomi Indonesia Triwulan II 2020 Turun 5,32 Persen*. <https://www.bps.go.id/pressrelease/2020/08/05/1737/-ekonomi-indonesia-triwulan-ii-2020-turun-5-32-persen.html>

Chabukswar, A. R., Jagdale, S. C., Kuchekar, B. S., Kothawade, H. S., Kuckekar, A. B., Joshi, V. D., Deshmukh, G. R., & Lokhande, P. D. (2011). Six Sigma: Process of Understanding the Control and Capability of Ranitidine Hydrochloride Tablet. *Journal of Young Pharmacists*, 3(1), 15–25. <https://doi.org/10.4103/0975-1483.76415>

Fatemi, S., & Franchetti, M. J. (2016). An application of sustainable lean and green strategy with a Six Sigma approach on a manufacturing system. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 10(1), 62–75. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2016.080453>

Ganguly, K. (2012). Improvement process for rolling mill through the DMAIC Six Sigma approach. *International Journal for Quality Research*, 6(3), 221-231.

<http://ijqr.net/journal/v6-n3/6.pdf>

Gholap, P. C., & Desai, T. N. (2012). Reduction of rework the Six Sigma way: case study of an Indian small scale industry. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 7(1), 92–116. <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2012.045266>

Herlambang, H. (2020). Six Sigma Implementation in Connector and Terminals Manufacturing Company: A Case Study. *IJIEM (Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management)*, 1(1): 1-11. <http://dx.doi.org/10.22441/ijiem.v1i1.9305>

Kaushik, P., & Kumar, S. (2017). An application of six sigma for SMEs: A case study. *Management Science Letters*, 7(3), 145-152. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2016.12.002>

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2021). *Laporan Kinerja Tahun 2020*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-laporan-kinerja-ditjen-minerba-2020.pdf>

Manesi, D. (2014). Aplikasi Metode Six Sigma (DMAIC) untuk Meningkatkan Kualitas Produk Alat Music Sasando. *Konferensi Nasional Engineering Perhotelan*, 423-432. <https://www.researchgate.net/publication/323934748>

Nithyanandam, G. K., & Pezhinkattil, R. (2014). A Six Sigma Approach for Precision Machining in Milling. *Procedia Engineering*, 97, 1474-1488. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.431>

Nurullah, A., Fitria, L., & Adiarto, R. H. (2014). Perbaikan Kualitas Benang 20S Dengan Menggunakan Penerapan Metode Six Sigma - DMAIC di PT. Supratex. *Reka Integra*, 1(2): 300-308. <https://ejournal.itenas.ac.id/rekaintegra/article/view/398>

Purba, H. H. (2016). Reducing The Operational Stop Time of Hauler Komatsu Hd465-7 by Using the Six Sigma's Approach in PT X. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 7(2), 91–103. <https://doi.org/10.21512/comtech.v7i2.2245>

Purba, H. H., & Aisyah, S. (2017). *Quality improvement and lean six sigma: Meningkatkan kualitas produk dan kinerja perusahaan menuju zero defect*. Yogyakarta: Expert.

- <https://opac.perpusnas.go.id/DetailOpac.aspx?id=1153387>
- Ridwan, M., Rifaitulloh, M. A., & Purba, H. H. (2019). Analysis of Improving Lead Time for Material Delivery from Hub Warehouse to Site Location in Heavy Equipment Company using DMAIC Method. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 4(1), 130-133. <https://ijisrt.com/wp-content/uploads/2019/01/IJISRT19JA75.pdf>
- Sharma, G. V. S. S., Rao, P. S., & Babu, B. S. (2018). Process capability improvement through DMAIC for aluminum alloy wheel machining. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(2), 213-226. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0220-z>
- Srinivasan, K., Muthu, S., Devadasan, S. R., & Sugumaran, C. (2014). Enhancing effectiveness of shell and tube heat exchanger through six sigma DMAIC phases. *Procedia Engineering*, 97, 2064-2071. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.12.449>
- Tampubolon, S., & Purba, H. H. (2021). Lean six sigma implementation, a systematic literature review. *International Journal of Production Management and Engineering*, 9(2), 125-139. <https://doi.org/10.4995/ijpme.2021.14561>
- Trimarjoko, A., Hardi Purba, H., & Nindiani, A. (2020). Consistency of DMAIC phases implementation on Six Sigma method in manufacturing and service industry: a literature review. *Management and Production Engineering Review*, 11(4), 34-45. <https://journals.pan.pl/dlibra/show-content?id=119029>
- Trimarjoko, A., Saroso, D. S., Purba, H. H., Hasibuan, S., Jaqin, C., & Aisyah, S. (2019). Integration of nominal group technique, Shainin system and DMAIC methods to reduce defective products: A case study of tire manufacturing industry in Indonesia. *Management Science Letters*, 9(13), 2421-2432. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.7.013>
- Utomo, U. (2020). A Systematic Literature Review of Six Sigma Implementation in Services Industries. *IJIEM (Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management)*, 1(1): 45-57. <http://dx.doi.org/10.22441/ijiem.v1i1.8846>
- Wardana, W., Harsono, A., & Liansari, G. P. (2015). Implementasi Perbaikan Kualitas Menggunakan Metode Six Sigma Untuk Mengurangi Jumlah Cacat Produk Sajadah pada Perusahaan PT Pondok Tekstil Kreasindo. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional @Jurusan*, 02(04), 295-307. <http://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaintegra/article/view/655>