

## Perbaikan Kualitas Baterai pada *Line Assembly* dengan Metodologi DMAIC

Fariz Muharram Hasby\*, Dradjad Irianto, Abraham Lavinio  
Institut Teknologi Bandung; email: [farizmhasby@itb.ac.id](mailto:farizmhasby@itb.ac.id), [dradjad@itb.ac.id](mailto:dradjad@itb.ac.id),  
[abrahamlavinio@gmail.com](mailto:abrahamlavinio@gmail.com)

\* Corresponding author

### Abstrak

Produksi baterai di Indonesia dalam skala besar yang dapat dikategorikan berkembang masih terbatas kepada baterai sekali pakai dalam berbagai ukuran. Penelitian ini berfokus kepada perbaikan kualitas baterai yang dibuat dalam sistem line assembly dengan menggunakan metodologi DMAIC - six sigma. Line assembly yang ditinjau menghasilkan dua jenis produk baterai yang berbeda, namun kedua produk tersebut digabungkan karena karakteristiknya yang dapat dianggap sama. Pengukuran kapabilitas produksi dan penggunaan teknik Statistical Quality Control, dilanjutkan dengan metode Delphi dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dapat mengidentifikasi 11 jenis cacat dan 5 faktor Critical to Quality (CTQ). Selanjutnya ditentukan 3 permasalahan penyebab cacat yang akan ditangani. Perancangan solusi perbaikan dilakukan dengan mengusulkan penjadwalan berkala bagi part-part mesin yang menjadi akar masalah penyebab cacat.

**Kata Kunci:** Six Sigma, DMAIC, Pengendalian Kualitas, Industri Baterai

### Abstract

**[Battery Line Assembly Quality Improvement using Six Sigma Methodology]** In Indonesia, large scale battery production with mature technology has only been applicable for one single-use batteries. As such, this research will focus on improvements in battery quality for batteries made in an assembly line system. The quality improvements will be achieved using the DMAIC – Six Sigma method. The observed line assembly is used to produce two types of batteries. However, both of these products are assumed to be a single product due to their similar characteristics. By using production capability measurements and statistical quality control techniques, continued by applying Delphi Method and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), we have identified 11 types of defects and 5 Critical to Quality (CTQ) factors. Afterwards we have also chosen 3 root causes for the occurring defects that will be handled by designing suitable solutions for the problem. Lastly, we have also proposed periodical maintenance for the root causes as they can all be classified into problems that occurred in the production machines.

**Keywords:** Six Sigma, DMAIC, Quality Control, Battery Industry

Kelompok BoK yang bersesuaian dengan artikel: *Quality & Reliability Engineering*

Saran format untuk mensitasi artikel ini:

Hasby, F.M., Irianto, D., dan Lavinio, A. (2023). Perbaikan Kualitas Baterai pada *Line Assembly* dengan Metodologi DMAIC. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Industri (SENASTI) 2023*, 235-242.

## 1. Pendahuluan

Baterai adalah sumber tenaga yang banyak digunakan pada saat ini, terutama dengan semakin banyaknya produk-produk rumah tangga yang bersifat elektrik dan portabel. Di Indonesia, teknologi produksi baterai dalam skala industri besar masih terbatas pada produksi baterai kimia sekali pakai. Penelitian ini berfokus pada perbaikan kualitas dari salah satu produsen baterai terbesar di Indonesia yang terletak di Pulau Sumatra, Indonesia. Pabrik ini memiliki target cacat sebesar 0,1% namun data menunjukkan bahwa pada periode tertentu proporsi cacat produk yang dihasilkan dapat mencapai 0,15%. Walaupun secara proporsi angka tersebut dapat dikatakan relatif kecil, namun kapasitas produksi yang dapat mencapai 9 juta unit produk per bulan akan menghasilkan jumlah produk cacat yang tinggi, yaitu sebesar 13.500 buah produk cacat dalam satu bulan untuk tingkat proporsi cacat sebesar 0,15%.

Sistem produksi yang ada pada pabrik ini memiliki beberapa keunikan, diantaranya yaitu satu lini produksi dipakai untuk menghasilkan beberapa produk sekaligus dengan urutan produksi dan fasilitas produksi yang identik. Selain itu, sistem produksi memiliki catatan informasi mengenai gangguan di lini produksi, sehingga data tersebut dapat dipakai untuk melakukan analisis hasil produksi lebih jauh, seperti untuk menentukan *assignable cause* atau *common cause* pada kasus di mana terdapat hasil produksi yang berada di luar batas dari peta kendali.

Hajji et al. (2012) mempelajari sistem yang menghasilkan multiproduk dan menggunakan teori *optimal control* serta simulasi stokastik dinamik untuk menentukan laju produksi dan garis batas spesifikasi atas dan bawah (UCL dan LCL) secara simultan. Korytkowski et al. (2007) memodelkan permasalahan lini produksi multiproduk dengan mempertimbangkan perencanaan kapasitas dan kualitas secara bersamaan sebagai persoalan jaringan antrian. Namun, kedua referensi tersebut tidak memodelkan penggabungan beberapa produk dengan karakteristik yang sama menjadi satu produk.

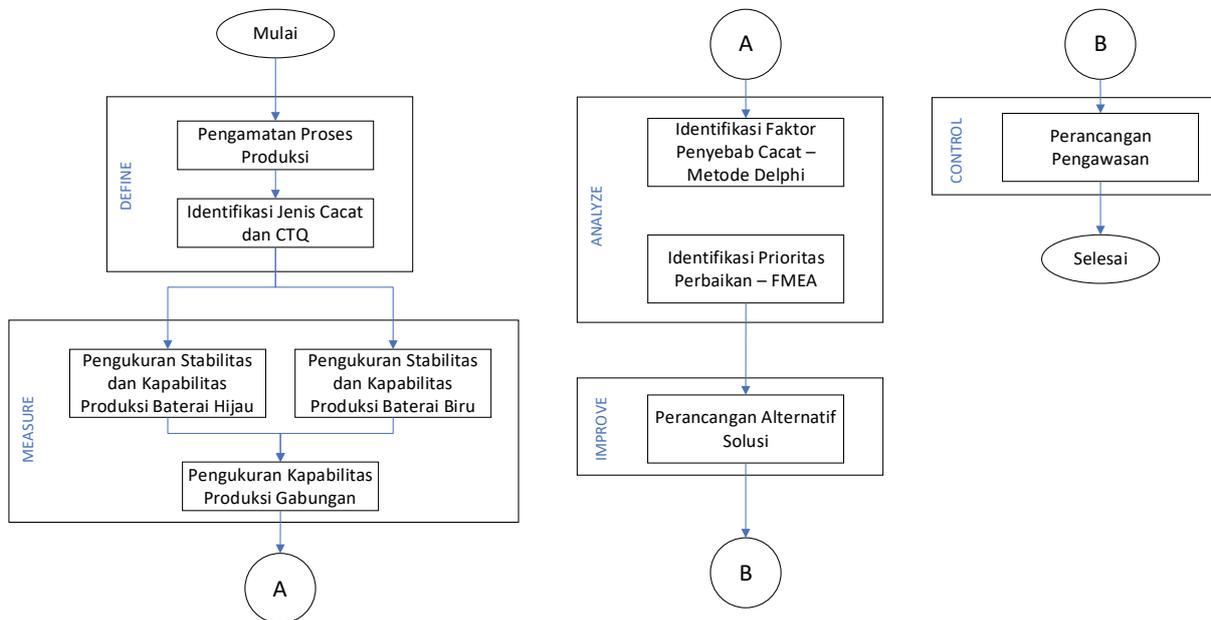
Salmasnia et al. (2017) dan Wan et al. (2023) mengusulkan penjadwalan produksi yang dilakukan secara simultan dengan perencanaan perawatan dan penggunaan peta kendali, di mana pada model tersebut diasumsikan bahwa sistem produksi memiliki *assignable cause* yang jumlahnya lebih dari satu. Namun, kedua penelitian tersebut mengasumsikan bahwa *assignable cause* yang bersesuaian dengan pergeseran hasil produksi dapat ditentukan dengan mudah. Di sisi lain, Demirli dan Vijayakumar (2010) menggunakan pendekatan *fuzzy logic* untuk mendeteksi pola-pola yang berbeda dari pergeseran data pada peta kendali, sehingga *assignable cause* yang paling mungkin dapat diklasifikasikan sesuai dengan pola yang terdeteksi.

## 2. Metode

Perbaikan kualitas pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kerangka DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), yaitu dengan melakukan pengukuran kapabilitas produksi berdasarkan metode pengendalian kualitas secara statistik. Selanjutnya akan digunakan implementasi metode Delphi dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk menentukan jenis cacat dan faktor-faktor *critical to quality* (CTQ), sehingga dapat ditentukan akar penyebab permasalahan dan dirancang perbaikan yang sesuai untuk penyebab permasalahan tersebut. Gambar 1 menunjukkan metodologi penelitian yang digunakan.

Pengamatan dari sistem produksi dan wawancara dengan manajer produksi menghasilkan identifikasi 11 jenis cacat yang dapat terjadi selama produksi baterai dilakukan. Setelah itu, seluruh jenis cacat kemudian dikumpulkan berdasarkan di bagian mana cacat tersebut dapat muncul, yaitu *opportunities* untuk timbulnya cacat. Tabel 1 menunjukkan pengelompokan jenis cacat dan *opportunity* timbulnya cacat.

Seperti yang telah disampaikan sebelumnya, sistem produksi ini memiliki dua produk yang diproses secara bergantian, baterai hijau dan baterai biru, menggunakan fasilitas produksi yang sama dengan urutan produksi yang juga sama. Untuk itu akan dilakukan pengukuran stabilitas dan kapabilitas produksi dari kedua produk. Jika kedua produk dinilai sama, maka kedua produk tersebut dapat digabungkan dan dianggap sebagai satu produk yang berasal dari sistem distribusi yang sama.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Tabel 1. Jenis Cacat dan *opportunity* cacat

No	Jenis Cacat	Opportunities
1	Baterai yang tidak tepat terinjeksi ES	Mesin ES
2	Baterai yang tidak terinjeksi ES	
3	<i>Sealing compound</i> pada baterai tidak melingkar sempurna	Mesin <i>Sealing Compound</i>
4	Hasil <i>curling</i> miring atau tidak bulat	Mesin <i>Galatnizing</i>
5	PE Seal yang terlalu miring pada baterai	
6	Pemanasan PVC Tube pada baterai kurang matang	
7	PVC tube yang pemotongannya miring	Mesin BH 201F
8	Terpasang <i>negative disc</i> yang berkarat	
9	Terpasang <i>negative disc</i> yang terbalik	
10	<i>Negative disc</i> tidak terpasang	
11	Baterai penyok	Jalur <i>line assembly</i> dan <i>hopper</i>

Pengukuran stabilitas produksi dilakukan menggunakan peta kendali fraksi cacat (*P chart*), dengan perhitungan fraksi cacat didapatkan melalui Persamaan (1). Sampel yang

digunakan beragam sesuai dengan jumlah produksi kedua jenis produk setiap harinya selama 4 bulan.

$$\hat{p} = D_i / n \quad (1)$$

$D_i$ : Jumlah Produk cacat pada sampel ke  $i$

$n$ : Ukuran sampel

$i$ : 1, 2, 3, ...,  $m$

Jika sistem produksi dinyatakan stabil, maka selanjutnya data dari sistem akan digunakan untuk melakukan perhitungan kapabilitas produksi yang dinyatakan dalam nilai sigma, seperti dinyatakan dalam Persamaan (2).

$$\text{Sigma} = \text{NORMSINV} \left( \frac{1.000.000 - \frac{\text{DPMO}}{2}}{1.000.000} \right) \quad (2)$$

*DPMO: Defect per Million Opportunities*

Dalam pembuatan peta kontrol, jika terdapat titik yang jatuh di luar batas kontrol atas atau batas kontrol bawah, maka titik sampel tersebut dapat dihilangkan dan model dibuat ulang, apabila ada *assignable cause* yang dapat dikaitkan pada jatuhnya titik yang berada di luar kontrol tersebut (Montgomery, 2009). Pada penelitian ini, penentuan *assignable cause* dilakukan berdasarkan data yang sudah dikumpulkan oleh pihak perusahaan. Perusahaan sudah mengidentifikasi gangguan yang terjadi di rantai produksi setiap harinya sebagai gangguan produksi, gangguan mesin atau gangguan lain-lain. *Assignable cause* dapat diberikan kepada sampel tersebut jika persamaan (3) terpenuhi.

$$\sum \text{gangguan produksi} + \sum \text{gangguan mesin} < \sum \text{gangguan lain - lain} \quad (3)$$

Hal ini disebabkan karena gangguan produksi dan gangguan mesin didefinisikan sebagai gangguan yang sering terjadi di lapangan dan inheren dalam proses produksi yang dilakukan, sementara gangguan lain-lain adalah tipe gangguan yang bersifat eksternal dan mempengaruhi produksi, seperti mati listrik, penggantian bagian mesin yang bersentuhan langsung dengan produk, dll. Oleh karena itu, jika gangguan lain-lain lebih banyak dibandingkan dengan tipe gangguan lainnya dalam suatu hari, pada hari tersebut dapat dianggap bahwa faktor eksternal lebih berpengaruh terhadap hasil produksi sehingga sampel pada hari tersebut dianggap tidak berasal dari sistem distribusi yang sama.

### 3. Hasil dan Pembahasan

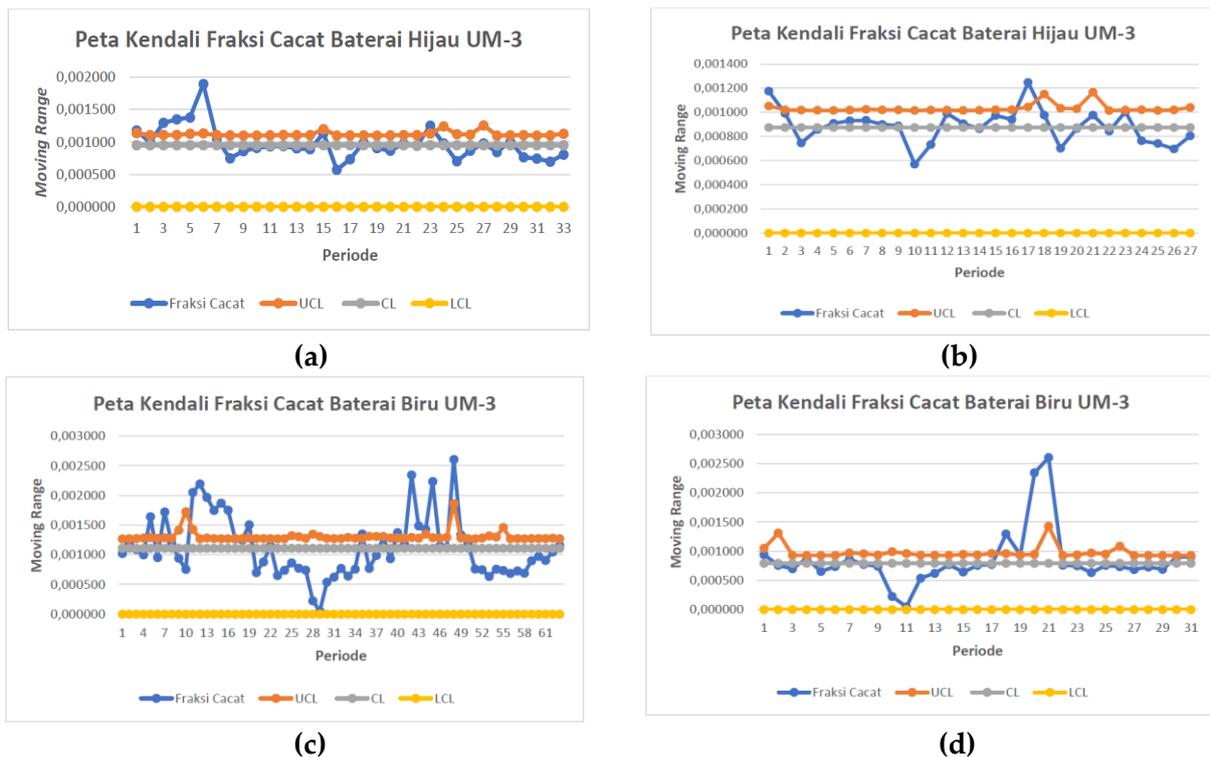
Hasil pengukuran stabilitas produksi baterai hijau dan baterai biru (awal dan akhir) ditunjukkan pada Gambar 2. Stabilitas produksi dari baterai hijau dan baterai biru dapat dikatakan stabil setelah dilakukan masing-masing 3 iterasi dan 5 iterasi pembuatan peta kontrol fraksi cacat.

Perhitungan kapabilitas produksi baterai hijau dan baterai biru dihitung menggunakan persamaan (2) dan didapatkan bahwa kapabilitas produksi baterai hijau adalah sebesar  $3.75 \sigma$  dan kapabilitas produksi baterai biru adalah sebesar  $3.78 \sigma$ . Oleh karena itu setelahnya diputuskan bahwa kedua produk ini dapat dianggap sebagai satu produk dan disatukan untuk perhitungan stabilitas maupun kapabilitas produksinya.

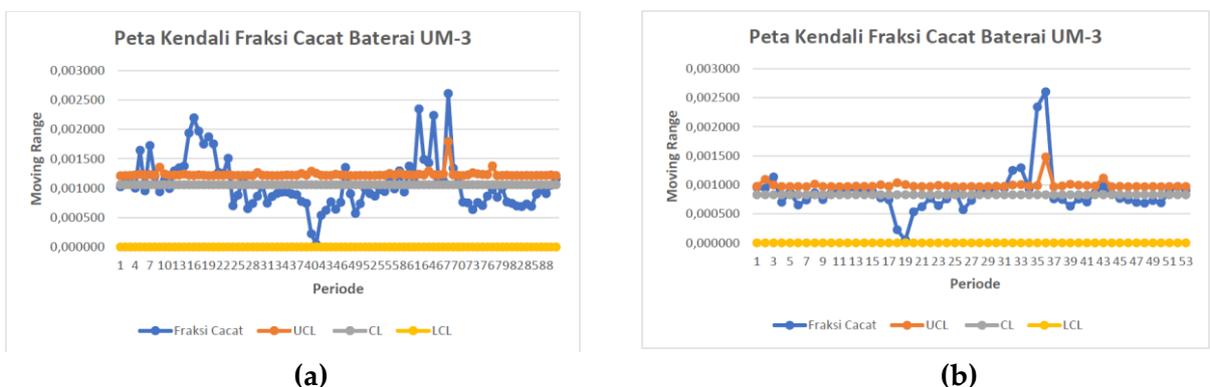
Dengan menggunakan data gabungan kedua produk, dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa setelah 6 iterasi maka peta kendali fraksi cacat yang dibuat dapat dikatakan stabil.

Ditinjau dari kapabilitas produksinya, kapabilitas produk gabungan dapat dilihat pada perhitungan di bawah seperti ditunjukkan pada Persamaan (4) – Persamaan (7).

Berdasarkan analisis Pareto lanjutan dari jumlah cacat yang timbul dikategorikan terhadap *opportunity* munculnya cacat, maka fokus perbaikan diberikan kepada Jalur *line assembly* dan *Hopper*, Mesin BH201F, dan Mesin ES. Tabel 2 menunjukkan analisis jumlah cacat secara kumulatif terhadap faktor CTQ.



**Gambar 2.** (a) Peta Kendali Baterai Hijau Iterasi 1; (b) Peta Kendali Baterai Hijau Iterasi 3; (c) Peta Kendali Baterai Biru Iterasi 1; (d) Peta Kendali Baterai Biru Iterasi 5



**Gambar 3.** (a) Peta Kendali Baterai Gabungan UM-3 Iterasi 1; (b) Peta Kendali Baterai Gabungan UM-3 Iterasi 6

$$DPU = \frac{D}{U} = \frac{13.818}{16.801.226} \quad (4)$$

$$DPO = \frac{DPU}{TOP} = \frac{0,00082}{5} = 0,000164488 \quad (5)$$

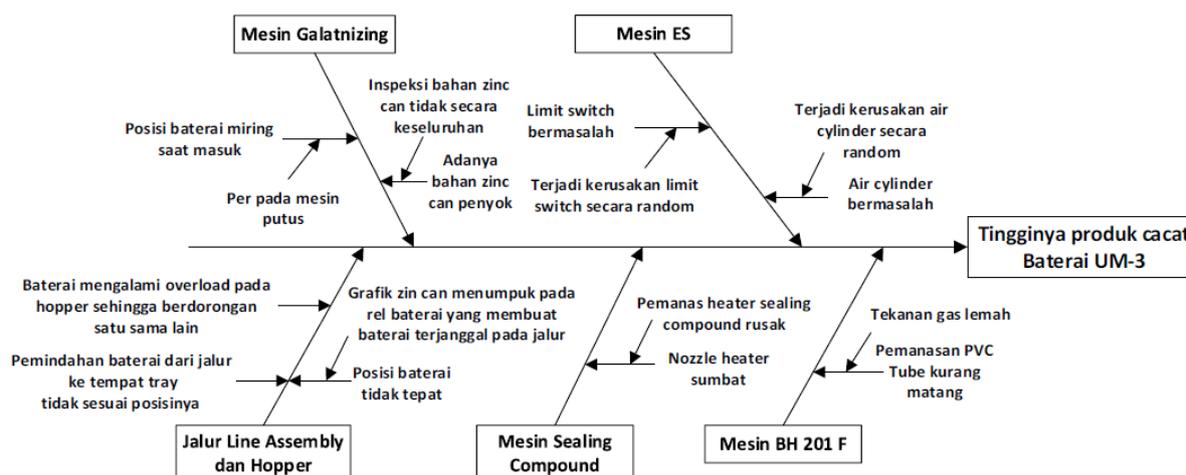
$$DPMO = DPO \times 1.000.000 = 164,488 \quad (6)$$

$$Sigma = \frac{1.000.000 - \frac{164,488}{2}}{1.000.000} = 3,77\sigma \quad (7)$$

Tabel 2. Persentase kumulatif cacat berdasarkan CTQ

No	CTQ	Total Produk Cacat	Persentase	Persentase Kumulatif
1	Jalur <i>line assembly</i> dan <i>hopper</i>	6473	27,62%	28%
2	Mesin BH 201F	6464	27,59%	55%
3	Mesin ES	6145	26,22%	81%
4	Mesin <i>Galatnizing</i>	2454	10,47%	92%
5	Mesin <i>sealing compound</i>	1896	8,09%	100%

Selanjutnya dilakukan identifikasi faktor penyebab cacat dengan metode Delphi. Metode Delphi merupakan salah satu metode pengambilan keputusan di mana beberapa narasumber yang dianggap sebagai pakar memberikan tanggapan mengenai suatu keputusan menggunakan serangkaian kuesioner agar didapatkan tanggapan yang dapat dikategorikan sebagai konsensus (Foley, 1972). Dalam penelitian ini, metode Delphi melibatkan 3 narasumber, termasuk Kepala Pabrik dan mekanik yang bertugas pada lini *assembly*. Diskusi Delphi dilakukan dalam 3 putaran sehingga menghasilkan faktor-faktor penyebab cacat bagi tiap mesin / CTQ yang telah diidentifikasi, seperti digambarkan menggunakan diagram *fishbone* pada Gambar 4.



Gambar 4. Faktor Penyebab Cacat pada sistem produksi *assembly* baterai

Dari sekian banyak faktor yang telah teridentifikasi, dilakukan analisis FMEA untuk dapat ditentukan faktor-faktor apa saja yang akan dilakukan perbaikan. FMEA akan menghasilkan tingkat risiko dari setiap faktor berdasarkan perkalian dari nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* untuk tiap faktor (Pzydek dan Keller, 2010). Tabel 3 menunjukkan penilaian FMEA yang dilakukan oleh kepala pabrik pada seluruh faktor penyebab cacat yang

telah diidentifikasi. Walaupun nilai RPN pada penilaian FMEA menunjukkan terdapat 5 permasalahan dengan nilai maksimal, namun diskusi lanjutan dengan kepala pabrik mengindikasikan permasalahan yang akan dibenahi adalah permasalahan keandalan pada bagian-bagian sensor dan aktuator mesin, yaitu permasalahan nomor 1, 2 dan 5 pada Tabel 3.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan-permasalahan tersebut adalah dengan melakukan *maintenance* secara berkala. Namun, pelaksanaan *maintenance* harus diperhitungkan dengan cermat karena pelaksanaan *maintenance* akan berimbas pada terhentinya produksi. Tabel 4 menunjukkan penurunan kapasitas produksi dan jumlah produk cacat yang dihasilkan dari periode 4 bulan oleh ketiga mesin yang telah diidentifikasi sebagai faktor penyebab cacat. Total kerugian dan proyeksi pendapatan didapatkan dari harga jual baterai yaitu Rp 2.000 per unit.

**Tabel 3.** Penilaian FMEA

No	Permasalahan	S	O	D	RPN
1	Limit Switch rusak	8	8	3	192
2	Air Cylinder rusak	8	8	3	192
3	Zinc can menumpuk di rel	8	8	3	192
4	Posisi produk miring	8	8	3	192
5	Sensor overload rusak	8	8	3	192
6	Nozzle Heater tersumbat	5	7	3	105
7	Zinc can rusak	8	7	3	105
8	Per pada mesin putus	3	7	3	63
9	Tekanan gas lemah	2	8	1	16

Selain itu terdapat *failure cost* yang dapat dihindarkan dari biaya peleburan ulang logam bagian baterai yang tidak jadi diproduksi, yaitu sekitar Rp. 113.352. Biaya ini juga dapat dianggap sebagai keuntungan karena tidak dikeluarkan jika diasumsikan seluruh cacat yang timbul akan hilang akibat *maintenance* rutin yang dilakukan, sehingga keuntungan total dari strategi *maintenance* dapat diasumsikan sebagai Rp. 25.349.562.

**Tabel 4.** Kerugian dan total cacat berdasarkan mesin

Part	Lama <i>maintenance</i> (menit)	Penurunan Kapasitas Produksi (unit/menit)	Kuantitas produk tidak dapat diproduksi (unit)	Kerugian (Rp)	Total Cacat Real (unit)	Proyeksi Pendapatan (Rupiah)
Limit Switch	15	66	990	1.980.000	3.072	6.146.000
Air Cylinder	15	66	990	1.980.000	3.073	6.146.000
Sensor Hopper	25	132	3300	6.600.000	6.473	12.946.000

Oleh karena itu, jumlah total *maintenance* yang dilakukan adalah disesuaikan dengan persamaan (8) untuk memastikan bahwa keuntungan yang didapatkan dari solusi tersebut

tidak lebih besar dari *cost* yang timbul akibat *maintenance* yang dilakukan. Karena data keuntungan dan kerugian dikumpulkan dalam periode 4 bulan, maka melalui persamaan tersebut dapat dilihat bahwa kuantitas *maintenance* yang dilakukan tidak lebih dari 2 kali setiap 4 bulan, atau terbatas pada 1 kali *maintenance* dalam 2 bulan.

$$\begin{aligned} \text{Cost} \times \text{Kuantitas Penjadwala} &\leq \text{Total Benefit} \\ \text{Rp } 10.560.000 \times \text{Kuantitas Penjadwalan} &\leq \text{Rp } 25.349.562 \end{aligned} \quad (8)$$

Agar solusi *maintenance* dapat berjalan dengan baik, maka dirancang juga lembar pengecekan dan *Standard Operating Procedure* (SOP) untuk setiap *maintenance* mesin berdasarkan diskusi dengan mekanik dari perusahaan. Dirancang juga jadwal kontrol yang sesuai untuk menutup siklus DMAIC yang dipergunakan sebagai kerangka utama pada penelitian ini.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan solusi perbaikan kualitas bagi pabrik baterai di Indonesia, dengan karakteristik khusus di mana lini *assembly* menghasilkan dua produk baterai yang dapat dianggap menjadi satu produk gabungan setelah diadakan analisis kapabilitas produksi. Identifikasi faktor cacat menunjukkan adanya permasalahan keandalan pada sensor dan aktuator dari mesin yang dipergunakan, oleh karena itu kemudian dirumuskan jadwal pemeliharaan mesin berdasarkan analisis biaya kerugian dan keuntungan yang didapatkan dari perbaikan kualitas yang dilakukan. Selain itu dirumuskan juga SOP untuk pengecekan dan pemeliharaan bagian mesin yang bersesuaian, sehingga pemeliharaan dapat berjalan dengan efektif.

#### Daftar Pustaka

- Demirli, K., Vijayakumar, S. (2010). Fuzzy logic based assignable cause diagnosis using control chart patterns. *Information Sciences*, Vol 180, Issue 17, 3258-3272. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.05.009>
- Foley, M. (1972). *The Delphi Technique: Theory and Applications*. Prentice Hall Inc..
- Hajji, A., Gharbi, A., & Dellagi, S. (2012). Quality and production control in multiple-product unreliable manufacturing system. *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 45, Issue 6, 981-986. <https://doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00399>
- Korytkowski, P., Zaikin, O., & Olejnik-Krugly, A. (2007). Capacity and quality control modelling of multi-product production lines. *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 40, Issue 3, 93-98. <https://doi.org/10.3182/20070523-3-ES-4908.00016>
- Pyzdek, T., Keller, P. (2010). *The Six Sigma Handbook*. McGraw Hill.
- Salmasnia, A., Abdzadeh, B., & Namdar, M. (2017). A joint design of production run length, maintenance policy and control chart with multiple assignable causes. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol 42, 44-56. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.11.003>
- Wan, Q., Zhu, M., & Qiao, H. (2023). A joint design of production, maintenance planning and quality control for continuous flow processes with multiple assignable causes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, Vol 43, 214 – 226. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2023.04.006>