

USULAN RANCANGAN ALAT PALM KERNEL SIEVE SELF-CLEANING PADA PROSES NUT GRADING UNTUK MEMINIMASI DEFECT MENGGUNAKAN METODE QFD PADA PT XYZ

1st Muhammad Rabbani Asadel
Teknik Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia
asadrabbani@student.telkomuniversity.
ac.id

2nd Marina Yustiana Lubis
Teknik Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia
marinayustianalubis@telkomuniversity.
ac.id

3rd Sheila Amalia Salma
Teknik Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia
sheilaamalias@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— PT XYZ menghadapi peningkatan defect kernel pecah pada produksi Palm Kernel Oil (PKO) yang konsisten melebihi batas toleransi 15% selama periode 2021–2023. Akar masalahnya terletak pada ketidakefisienan proses nut grading, di mana nut tersangkut di lubang pengayakan mesin nut grading drum yang menyebabkan percampuran ukuran nut di nut hopper dan memicu kerusakan kernel saat pemecahan di ripple mill. Untuk mengatasi hal ini, penelitian ini merancang alat pembersih otomatis terintegrasi menggunakan pendekatan kombinasi DMAI (Define–Measure–Analyze–Improve) dari kerangka Six Sigma dan Quality Function Deployment (QFD). Tahap Define mengidentifikasi CTQ (Critical to Quality) melalui pemetaan alur produksi, sementara Measure mengungkap kapabilitas proses rendah (nilai sigma 3.50) menggunakan peta kendali P. Analyze akar masalah menggunakan fishbone diagram dan 5 Why's menyoroti penyebab masalah utama. Solusi perbaikan (Improve) dikembangkan melalui QFD dengan menerjemahkan kebutuhan stakeholder menjadi empat need statement (desain sederhana, kemudahan perawatan, ketahanan korosi, pengurangan tumpahan nut), yang diprioritaskan dalam House of Quality (HOQ). Hasilnya adalah desain alat berbasis roller (Stainless Steel 304) berukuran 08 cm × 455 cm dengan sekat 452 × 5 × 25 cm, yang terverifikasi memenuhi seluruh spesifikasi teknis dan tervalidasi oleh stakeholder.

Kata kunci— Six Sigma, DMAI, Defect, Nut Grading, QFD

I. PENDAHULUAN

Kualitas dalam konteks industri merujuk pada kemampuan suatu produk atau layanan untuk memenuhi standar yang ditetapkan dan memuaskan kebutuhan serta harapan pelanggan[1]. Peningkatan kualitas berhubungan erat dengan peningkatan produktivitas karena produk yang lebih berkualitas mengurangi jumlah produk cacat, yang pada gilirannya mengurangi waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk perbaikan atau penggantian produk[1]. Pemantauan kinerja proses selama produksi dilakukan untuk mendeteksi dan mencegah terjadinya variasi [2]. PT XYZ merupakan salah satu perusahaan produsen kelapa sawit yang memproduksi minyak sawit mentah atau crude palm oil (CPO) dan PKO. PKO adalah minyak yang diekstraksi dari biji kelapa sawit atau inti kelapa sawit yang memiliki bentuk dan ukuran yang mirip dengan kacang almond. PT XYZ berkomitmen terhadap perbaikan berkelanjutan untuk mendapatkan standar kualitas yang tinggi sehingga memungkinkan untuk mengkaji bagaimana

perusahaan mempertahankan dan meningkatkan kualitas produk melalui pendekatan metodologi seperti *six sigma*. PT XYZ menetapkan CTQ produk PKO yang harus dipenuhi untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan.

Tabel 1
CTQ produk PKO

Kode	Kriteria	Indikator
CTQ-1	Kernel Pecah	Kernel pecah dalam PKO harus dibawah 15%
CTQ-2	Kadar Kotoran	Kadar kotoran dalam PKO harus dibawah 8%
CTQ-3	Kadar Air	Kadar air dalam PKO harus dibawah 8%

Tabel 2
Data jumlah produksi dan defect produk PKO

Tahun	Bulan	Produksi Kernel (kg)	Mutu PKO			Penyebab Defect
			Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)	Kernel Pecah (%)	
			8 √	8 √	15 √	
2021	Januari	583.4 39	6.67	5.46	18.5 2	Kernel Pecah
	Febuari	436.2 41	6.73	7.05	13.1 3	-
	Maret	349.9 58	6.98	7.27	12.8 3	-
	April	340.9 21	6.92	7.06	12.6 1	-
	Mei	329.5 23	6.94	7.15	12.7 6	-
	Juni	455.5 16	6.92	7.06	12.6 1	-
	Juli	369.0 4	6.56	5.78	14.7 4	-
	Agustus	425.3 62	6.56	6.64	13.8 5	-

Tahun	Bulan	Produksi Kernel (kg)	Mutu PKO			Penyebab Defect
			Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)	Kernel Pecah (%)	
			< 8	< 8	< 15	
2022	September	368.638	5.67	5.85	12.43	-
	Oktober	398.757	6.59	6.45	12.6	-
	November	286.037	6.04	5.99	13.04	-
	Desember	226.206	6.6	6.45	12.63	-
	Januari	240.009	6.43	5.16	17.5	Kernel Pecah
	Februari	166.991	6.73	7.05	13.13	-
	Maret	237.43	5.93	5.82	17.5	Kernel Pecah
	April	304.244	6.51	4.61	17.46	Kernel Pecah
	Mei	384.44	6.35	5.34	16.7	Kernel Pecah
	Juni	522.4	6.63	6.64	14.63	-
	Juli	409.997	6.51	5.57	15.47	Kernel Pecah
	Agustus	326.151	7.12	6.88	13.72	-
	September	458.694	6.58	6.46	15.09	Kernel Pecah
	Oktober	435.521	6.49	6.42	13.66	-
	November	441.823	6.3	5.67	30.96	Kernel Pecah
	Desember	343.1	6.45	6.44	28.36	Kernel Pecah
2023	Januari	315.2	6.37	6.04	29.57	Kernel Pecah
	Februari	243.92	7.16	7.1	31.8	Kernel Pecah
	Maret	284.821	6.25	5.72	29.95	Kernel Pecah
	April	160.17	7.07	6.17	30.99	Kernel Pecah
	Mei	341.449	6.78	6.46	32.09	Kernel Pecah
	Juni	351.61	6.62	6.42	32.53	Kernel Pecah

Tahun	Bulan	Produksi Kernel (kg)	Mutu PKO			Penyebab Defect
			Kadar Air (%)	Kadar Kotoran (%)	Kernel Pecah (%)	
			< 8	< 8	< 15	
	Juli	412.18	6.41	6.5	32.63	Kernel Pecah
	Agustus	430.62	5.69	5.44	30.58	Kernel Pecah
	September	399.48	6.16	5.87	32.72	Kernel Pecah
	Oktober	416.442	6.38	6.08	31.09	Kernel Pecah
	November	398.098	6.36	6.19	29.3	Kernel Pecah
	Desember	340.502	5.64	5.4	27.58	Kernel Pecah

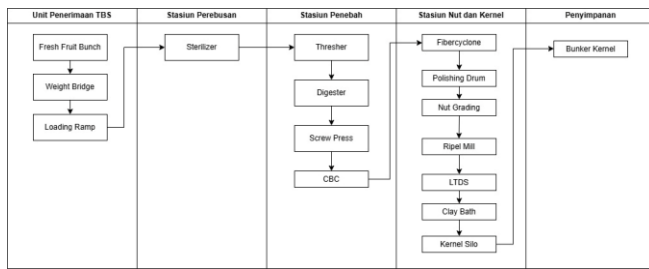
Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan nilai presentase pada masing-masing *defect* selama 18 bulan (Januari 2021 – Desember 2023). Pada rentang periode tersebut terdapat beberapa periode mengalami permasalahan yang disebabkan oleh kadar kernel pecah yaitu CTQ-1. Permasalahan tersebut timbul akibat rata-rata presentase kernel yang pecah saat proses produksi melebihi 15%, dimana presentase tersebut melebihi batas toleransi yang ditetapkan perusahaan. Hal ini mengindikasikan bahwa proses produksi kernel belum berjalan dengan baik pada rentang periode tersebut.

Metode DMAI (*Define – Measure – Analyze – Improvement*) digunakan dalam penelitian ini dengan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengusulkan perbaikan masalah dalam suatu proses atau sistem yang terjadi saat ini sehingga dapat meminimalkan terjadinya *defect* yang berulang.

Dimulai fase *Define* dengan mengidentifikasi CTQ produk yang ditetapkan oleh perusahaan pada tabel 1, serta jenis *defect* PKO dan presentase kemunculannya di setiap bulan pada proses produksi dari periode 2021 hingga 2023. Seperti yang terlampir pada tabel 2.

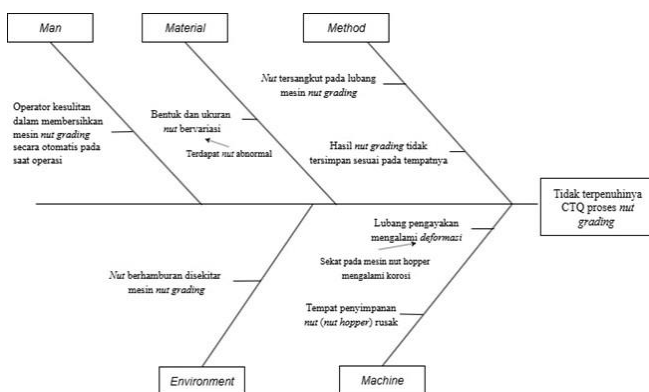
Fase *Measure* dilakukan pengukuran kapabilitas dan stabilitas proses untuk mengetahui kinerja proses eksisting pada produksi PKO di PT XYZ. Pada perhitungan proses produksi PKO eksisting didapatkan level sigma sebesar 3.50 sigma.

Pada fase *Analyze* untuk mengetahui proses produksi diperlukan pemetaan alur produksi dan mengidentifikasi CTQ proses pada setiap tahapannya, mendistribusikan jenis *defect* yang muncul, serta menganalisis akar penyebabnya.



Gambar 1
Alur proses produksi

Gambar 1 menjelaskan alur proses produksi PKO yang terdiri dari lima *work station* yaitu stasiun penerima tandan buah segar (TBS), stasiun perebusan, stasiun penebah, stasiun *nut* dan kernel, kemudian stasiun penyimpanan PKO. Pada setiap tahapan proses memiliki aktifitas dan CTQ proses yang ditetapkan oleh perusahaan dengan kriteria-kriteria yang harus dipenuhi. Tahapan proses pemecahan *nut* (*ripple mill*) menyebabkan tingginya *defect* kernel pecah, hal ini terjadi akibat pada proses *nut grading* terdapat sebuah mesin *nut grading drum* yang dirancang untuk menyaring berbagai ukuran *nut* sesuai dengan kriteria ukurannya. Hasil pengayakan *nut* akan disimpan sementara kedalam *nut hopper* yang memisahkan antara ukuran-ukuran *nut* yang kecil, sedang, dan besar, sebelum *nut* di distribusikan ke proses *ripple mill*. Berdasarkan CTQ proses *nut grading* ditemukan ketidaksesuaian persyaratan, yaitu adanya campuran beragam ukuran *nut* dalam satu kolom *nut hopper*. Ketidaksesuaian terhadap CTQ proses *nut grading* secara langsung memicu *defect* kernel pecah pada tahap produksi selanjutnya. Saat *nut* tersangkut di lubang pengayakan mesin *nut grading drum*, dapat terjadi dua dampak kritis yaitu tercampurnya *nut* di dalam *nut hopper* (tempat penyimpanan *nut* sementara) yang seharusnya terpisah di kolom kecil, sedang, dan besar tercampur akibat aliran *nut* yang tidak lancar. Ketika *nut* berukuran besar masuk ke kolom ukuran kecil di *nut hopper*, *nut* tersebut akan diproses di *ripple mill* yang didesain khusus untuk ukuran kecil. Berdasarkan kejadian tersebut diperlukan analisis penyebab tidak terpenuhinya CTQ proses pada tahap *nut grading* menggunakan *fishbone diagram* di bawah ini.



Gambar 2
Fishbone diagram

Dari identifikasi permasalahan menggunakan *fishbone diagram*, dilakukan analisa menggunakan analisis 5 *Why's* untuk mengetahui akar permasalahan yang jelas.

Berdasarkan analisis 5 *why's* didapatkan akar masalah bahwa operator kesulitan dalam membersihkan mesin *nut grading* secara berkelanjutan pada saat operasi menjadi masalah utama, maka pada penelitian ini dilakukan usulan perancangan alat bantu untuk membersihkan *nut* yang tersangkut pada menggunakan metode QFD. Penelitian ini dilakukan dengan judul “USULAN RANCANGAN ALAT PALM KERNEL SIEVE SELF-CLEANING PADA PROSES NUT GRADING UNTUK MEMINIMASI DEFECT MENGGUNAKAN METODE QFD PADA PT XYZ”

II. LANDASAN TEORI

A. Kualitas

Kualitas adalah faktor utama dalam perancangan sistem produksi yang mampu menghasilkan produk dengan memenuhi standar kualitas yang diinginkan [1]. kualitas pada dasarnya difungsikan sebagai senjata dalam persaingan serta diharapkan sebagai indikator keberhasilan dari sebuah rekayasa serta mengurangi variasi[3].

B. Analisis 5 Why's

Metode 5 *Why's* adalah alat sederhana yang efektif untuk analisis akar penyebab masalah. Dengan mengajukan pertanyaan 'why' secara berulang hingga lima kali, berdasarkan jawaban sebelumnya hingga akar masalah teridentifikasi[2].

C. Peta kendali P

Peta kendali adalah metode pengendalian proses statistik yang digunakan untuk memantau proporsi unit cacat (p) dalam produksi atau layanan. Metode ini mengandalkan data dari inspeksi biner sederhana yang mengklasifikasikan setiap unit yang memenuhi semua spesifikasi atau tidak memenuhi minimal satu spesifikasi [4]. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung *center line* (CL), *upper control limit* (UCL), dan *lower control limit* (LCL) [4].

$$UCL = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad (1)$$

$$CL = p_0 = \frac{\sum x_i}{\sum n_i} \quad (2)$$

$$LCL = p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} \quad (3)$$

Keterangan

$\sum x_i$ = Jumlah produk *defect* dalam sampel

$\sum n_i$ = Jumlah sampel

P_0 = Proposi cacat

D. Six sigma

Six Sigma adalah metodologi manajemen yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dengan mengurangi cacat dan variabilitas dalam proses produksi atau layanan[1]. Metode ini bertujuan untuk mengurangi variasi dalam operasi atau proses atau produk akhir untuk memenuhi kepuasan pelanggan. Dengan kata lain, proses hanya kurang dari 3,4 produk yang ditolak dari 1 juta bagian yang berarti 99,99997% produk diterima. Dalam standarisasi produk dan proses, metrik sigma melibatkan perhitungan cacat dan peluang cacat untuk memperoleh

nilai sigma. Tahap perhitungan *defect per million opportunities* (DPMO) sebagai berikut $DPMO = \frac{\text{Jumlah Produk Defect}}{(\text{Jumlah Produksi} \times \text{Jumlah Peluang Cacat})} \times 10^6$ [2]. Perhitungan DPMO dalam suatu proses, mengukur kualitas berdasarkan jumlah cacat (*defects*) tidak berdasarkan unit cacat (*defectives*). Perbedaan antara *defect* dan *defective* ini bersifat krusial dan memerlukan penjelasan lebih lanjut. Pada tabel II.1 memetakan hubungan antara persentase yang memenuhi spesifikasi, DPMO, dan level sigma[5].

Tabel 3
Konsep *six sigma*

Persentase yang memenuhi spesifikasi	DPMO	Level Sigma
31%	690.000	1-Sigma
69,20%	308.000	2-Sigma
93,32%	66.800	3-Sigma
99,379%	6.210	4-Sigma
99,977%	230	5-Sigma
99,9997%	3,4	6-Sigma

E. DMAIC

DMAIC bermanfaat untuk meningkatkan kepuasan pelanggan mengidentifikasi dan memecahkan masalah yang ada di perusahaan sehingga dapat meningkatkan proses bisnis perusahaan. Berikut merupakan penjelasan mengenai DMAIC [2].

F. CTQ (*Critical to Quality*)

Konsep CTQ adalah elemen penting dalam *lean six sigma*, yang memberikan dasar untuk menilai kinerja dalam memenuhi *customer requirement* [2]. CTQ memberikan dasar dalam menentukan langkah-langkah yang diperlukan untuk membantu memahami seberapa baik kinerja dapat memenuhi persyaratan kritis pelanggan [2].

G. Fishbone Diagram

Fishbone Diagram digunakan untuk mendefinisikan masalah, mengidentifikasi penyebab yang mungkin terjadi, dan mengatur penyebab-penyebab tersebut untuk diamati penyebab utamanya. Kemungkinan penyebab utama masalah (akibatnya) digambarkan sebagai tulang dari tulang punggung utama. Kuncinya adalah memiliki tiga sampai enam kategori utama yang mencantumkan semua kemungkinan masalah atau pengaruhnya. Kemudian, *brainstorming* biasanya dilakukan untuk menambahkan kemungkinan penyebab yang menonjol “tulang” dan alasan yang lebih spesifik untuk tulang pada tulang utama [2].

H. Pengembangan Produk

Pengembangan produk adalah strategi dan proses yang dilakukan perusahaan untuk mengembangkan produk baru, memperbaiki produk lama, atau menambah nilai terhadap barang lama[6]. Berikut adalah tahapan-tahapan umum dalam proses pengembangan produk:

1. Pembentukan ide
Tahap ini melibatkan penciptaan ide-ide baru untuk produk melalui *brainstroming*, riset pasar, atau masukan dari konsumen.
2. Penyaringan ide

Setelah ide terkumpul, tahap ini memilih ide-ide yang paling menjanjikan untuk dikembangkan lebih lanjut.

3. Pengembangan konsep (*concept development*)
Mengembangkan konsep produk yang lebih rinci termasuk fitur dan manfaat produk.
4. Analisis bisnis
Tahap ini mengevaluasi potensi pasar, biaya produksi, dan keuntungan yang diperoleh dari produk tersebut.
5. Desain dan pengembangan produk
Desain produk dibuat dan prototipe produk dikembangkan untuk pengujian lebih lanjut.
6. Pengujian dan validasi pasar
Prototipe diuji untuk memastikan bahwa produk memenuhi standar kualitas dan kebutuhan pasar.
7. Komersialisasi
Meluncurkan produk secara resmi ke pasar dengan strategi pemasaran yang telah disiapkan.
8. Pasca peluncuran
Setelah produk diluncurkan, perusahaan akan memantau kinerja produk di pasar dan melakukan penyesuaian jika diperlukan.

I. *Quality Function Deployment*

Quality Function Deployment (QFD) merupakan metode yang digunakan untuk menghubungkan karakteristik yang dihargai pelanggan dengan fitur dan spesifikasi yang spesifik dari suatu produk [2] Metode QFD menetapkan hubungan yang jelas antara setiap kebutuhan proses dan pelanggan sehingga memudahkan setiap karyawan untuk melihat peran mereka dalam memenuhi kebutuhan pelanggan [5]. Implementasi metode QFD secara garis besar dibagi menjadi tiga tahap, tetapi sebelum memasuki ketiga tahap tersebut selalu ada tahap perencanaan dan persiapan. Berikut ketiga tahap tersebut diantaranya [7]:

1. Tahap pengumpulan suara pelanggan (*voice of customer*)
Pengumpulan informasi kebutuhan dan harapan pelanggan terhadap suatu produk atau layanan. Data ini dapat diperoleh melalui berbagai metode, seperti survei, wawancara, benchmarking, atau observasi langsung terhadap perilaku pelanggan. Tujuan utama tahap ini adalah untuk memahami secara mendalam hal yang diinginkan oleh pelanggan.
2. Tahap penyusunan *house of quality* (HOQ)
Menerjemahkan *voice of customer* ke dalam bentuk matriks HOQ yang disusun untuk menerjemahkan kebutuhan atau permintaan pelanggan berdasarkan permintaan pelanggan menjadi target terukur yang harus dicapai dan dipenuhi dengan mendesain produk baru.
3. Tahap analisa dan interpretasi

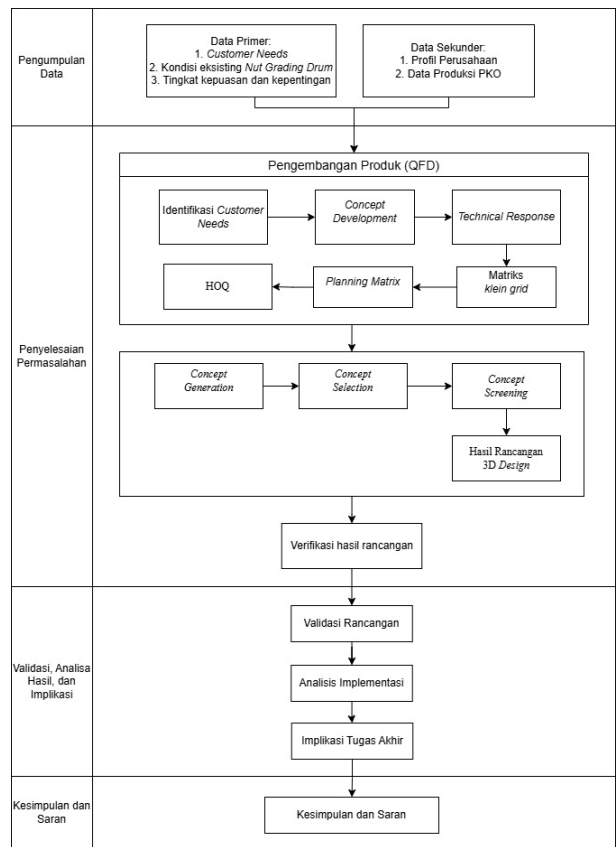
Tahap ini melibatkan analisis terhadap informasi yang terdapat dalam HOQ untuk mengidentifikasi prioritas pengembangan produk, menentukan target spesifikasi teknis, dan merencanakan tindakan perbaikan. Hasil analisis digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan dalam proses desain, pengembangan, dan produksi produk.

J. *House of Quality*

HOQ atau rumah mutu adalah matriks berbentuk rumah yang mempertemukan informasi mengenai keinginan pihak

konsumen (*customer needs*) dengan persyaratan pihak (*technical requirement*) sehingga tercapai sasaran desain, operasi, dan kerekayasaan yang nyata dan dapat dipakai sebagai pedoman operasi produksi untuk menghasilkan barang atau jasa yang berorientasi kepada spesifikasi yang diinginkan oleh konsumen [8].

III. METODE PENYELESAIAN MASALAH



Gambar 3
Sistematika penyelesaian masalah

Sistematika penyelesaian masalah disajikan pada gambar 3. Sistematika penyelesaian masalah membantu menganalisis masalah dengan lebih baik dengan menyediakan langkah-langkah pemecah masalah yang sistematis dan terstruktur. Dalam penelitian ini terdiri dari empat tahapan dalam sistematika penyelesaian masalah antara lain tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, tahap analisis dan kesimpulan.

IV. PENYELESAIAN PERMASALAHAN

Pada tahap ini dimulai dengan proses perancangan alat bantu usulan menggunakan metode QFD (*Quality Function Deployment*) berdasarkan data primer yang telah dikumpulkan.

A. Identifikasi Customer Need

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan perusahaan untuk merumuskan need statement melalui wawancara dengan pekerja di PT XYZ. Hasil wawancara bersama pelanggan (*customer needs*) akan diterjemahkan menjadi pernyataan kebutuhan (*need statement*). Berikut

hasil dari need statement yang disajikan pada Tabel IV.1 berikut.

Tabel 4
Need Statement

No.	Need Statement	Kode
1	Produk dirancang sederhana	V1
2	Produk mudah dibersihkan dan dirawat	V2
3	Produk kuat dan tidak mudah berkarat	V3
4	Produk dapat mengurangi tumpahnya nut ke lantai produksi	V4

B. Technical Response

Tahap berikutnya menentukan karakteristik teknis pengembangan produk yang ditentukan berdasarkan hasil dari need statement yang berisi spesifikasi produk yang dibuat untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. Karakteristik teknis dari need statement disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5
Technical response

No	Need Statement	Technical response
1	Produk dirancang sederhana	Dimensi produk
2	Produk mudah dibersihkan dan dirawat	Desain mudah dibongkar pasang
3	Produk kuat dan tidak mudah berkarat	Jenis material kuat dan tidak mudah berkarat
4	Produk dapat mengurangi tumpahnya nut ke lantai produksi	Desain produk

Setelah mengidentifikasi matriks pada setiap *need statement* untuk mengetahui kemungkinan penerapan solusi yang relevan ke dalam produk. Tahap selanjutnya dilakukan penentuan target spesifikasi pada setiap matriks. Target spesifikasi tersebut disajikan dalam tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6
Spesifikasi technical response

Need Statement	Technical response	Value	Unit
Produk dirancang sederhana	Lebar sekat	5	cm
	Panjang sekat	455	cm
	Tinggi sekat	25	cm
	Diameter roller	8	cm
	Panjang roller	455	cm
Produk mudah dibersihkan dan dirawat	Desain mudah dibongkar pasang	Yes/No	Binary

<i>Need Statement</i>	<i>Technical response</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
Produk kuat dan tidak mudah berkarat	Jenis material kuat dan tidak mudah berkarat	<i>Stainless steel, Aluminium, Carbon steel</i>	<i>Type</i>
Produk dapat mengurangi tumpahnya <i>nut</i> ke lantai produksi	Fitur pembersih saringan	<i>Yes/No</i>	<i>Binary</i>
	Fitur Sekat	<i>Yes/No</i>	<i>Binary</i>

C. Menentukan *Klein Grid Matrix*

Pada tahapan ini, *matrix klein grid* bertujuan untuk memetakan hubungan kuantitatif antara kebutuhan pelanggan dengan karakteristik teknis produk melalui penilaian korelasi serta mengidentifikasi prioritas perancangan produk. Prioritas perancangan produk ditentukan menggunakan kuesioner yang mengukur tingkat kepentingan dan kepuasan dari seluruh pernyataan kebutuhan pelanggan yang diperoleh dari hasil rekapitulasi kuesioner, kemudian dikombinasikan dengan skor korelasi matriks. Hasil rekapitulasi kuesioner tersebut disajikan pada tabel 7 dan tabel 8.

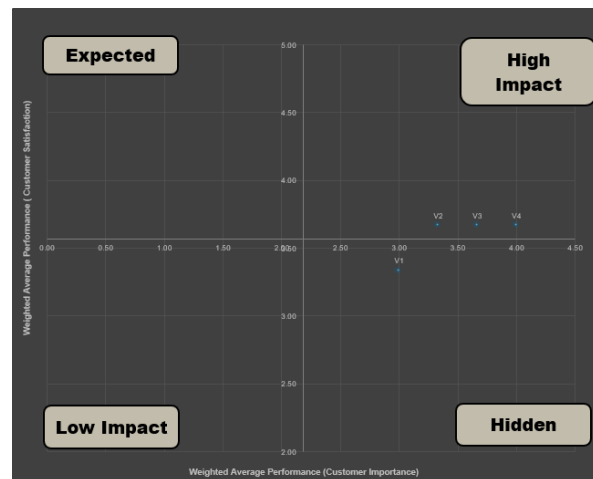
Tabel 7
WAP Kepuasan

<i>Weighted Average Performance (Kepuasan Pelanggan)</i>			
V1	V2	V3	V4
3.00	3.33	3.67	4.00
Titik potong (X)		3.50	

Tabel 8
WAP Kepentingan

<i>Weighted Average Performance (Kepuasan Pelanggan)</i>			
V1	V2	V3	V4
3.33	3.67	3.67	3.67
Titik potong (Y)		3.58	

Setelah dilakukan perhitungan WAP berdasarkan hasil kuesioner kepuasan dan kepentingan pelanggan. Tahap berikutnya menyusun *matrix klein grid* untuk mengelompokkan atribut kebutuhan menjadi empat kategori yaitu *expected*, *high impact*, *low impact*, dan *hidden* seperti yang disajikan dalam gambar berikut.



Gambar 4
Klein grid matrix

Tabel 9
Klarifikasi hasil *klein grid matrix*

<i>Variable</i>	<i>Expected</i>	<i>High Impact</i>	<i>Low Impact</i>	<i>Hidden</i>
		V2		V1
		V3		
		V4		

Berdasarkan pada gambar 4 dan tabel 9 yang termasuk dalam kategori *high impact* adalah kode atribut V2, V3, dan V4. Hal ini menunjukkan jika atribut kebutuhan dipenuhi maka akan meningkatkan kepuasan pelanggan di antaranya produk mudah dibersihkan dan dirawat, produk kuat dan tidak mudah berkarat, dan produk dapat mengurangi tumpahnya *nut* ke lantai produksi. Adapun yang termasuk kategori *hidden* adalah kode atribut V1 yang menunjukkan bahwa produk dirancang sederhana merupakan atribut yang mungkin belum disadari sepenuhnya oleh pelanggan sebagai suatu kebutuhan.

D. *Planning Matrix*

Tahap berikutnya membuat *planning matrix* yang memastikan bahwa setiap keputusan pengembangan produk berakar pada pemahaman yang jelas tentang apa yang diinginkan pelanggan dan bagaimana kebutuhan tersebut dapat diterjemahkan menjadi produk yang sesuai dengan spesifikasi sasaran. Berikut merupakan hasil *planning matrix* pada tabel 10 berdasarkan hasil yang diperoleh dari *Klein Grid Matrix*.

Tabel 10
Planning matrix

Need Statement	Matriks Klein Grid	Customer Satisfaction Performance	Importance to Customer	Goal	Improvement Ratio	Sales Point	Raw Weight	Normalized Raw Weight
Produk dirancang sederhana	HIM	3.0	3.3	3.1	1.0	1.5	5.2	0.2
Produk mudah dibersihkan dan dirawat	HID	3.3	3.6	3.5	1.0	1	3.8	0.1
Produk kuat dan tidak mudah berkarat	HIM	3.6	3.6	3.6	1.0	1.5	5.5	0.2
Produk dapat mengurangi tumpahnya ke lantai produksi	HIM	4.0	3.6	3.8	0.9	1.5	5.2	0.2

E. HOQ

Langkah awal dalam penyusunan HOQ adalah menetapkan matriks hubungan antara *technical response* dengan *need statement* sebagaimana yang disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 11
Nilai matriks hubungan

Hubungan	Nilai	Keterangan
Kuat	9	Terdapat hubungan yang kuat antara <i>technical response</i> dengan <i>need statement</i>
Sedang	3	Terdapat hubungan yang sedang antara <i>technical response</i> dengan <i>need statement</i>
Lemah	1	Terdapat hubungan yang lemah antara <i>technical response</i> dengan <i>need statement</i>
Tidak Ada	0	Tidak ada hubungan di antara <i>technical response</i> dengan <i>need statement</i>

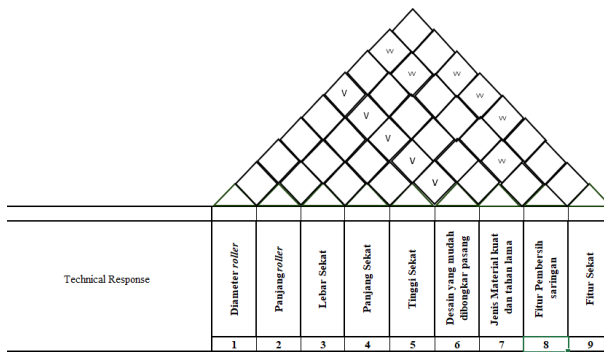
Tabel 12
Hubungan *technical response* dengan *need statement*

Technical response	Need Statement	Produk dirancang sederhana	Produk mudah dibersihkan	Produk tahan lama	Produk dapat mengurangi tumpahnya
	Fitur pembersih saringan	3	3	3	9
	Fitur sekat	3	3	3	0
	Jenis material kuat dan tidak mudah berkarat	0	3	9	1
	Desain yang mudah dibongkar pasang	3	9	3	0
	Tinggi sekat	9	3	0	9
	Panjang sekat	9	3	0	3
	Lebar sekat	9	3	0	3
	Panjang roller	9	3	0	3
	Diameter roller	9	3	0	3

Pada tabel 12, diketahui bahwa hubungan antara setiap *need statement* dan matriks *technical response* terisi dengan nilai korelasi 0, 1, 3, dan 9, kemudian nilai-nilai tersebut akan diintegrasikan ke dalam HOQ untuk mengembangkan analisis lebih lanjut. Pada tahap selanjutnya menentukan dan memberikan simbol hubungan antar variabel *technical response* ditentukan berdasarkan keterangan simbol yang tercantum dalam tabel 13 berikut.

Tabel 13
Simbol Hubungan antara *Technical Response*

Simbol	Keterangan
VV	Dampak positif yang kuat
V	Dampak positif
(none)	Tidak memiliki pengaruh
X	Dampak negatif
XX	Dampak negatif yang kuat



Gambar 5
Matrix correlation

Berdasarkan gambar 5 menunjukkan matriks korelasi antar *technical response* yang berada pada bagian atas HOQ. Diketahui bahwa matriks panjang produk, lebar produk, dan tinggi produk memiliki korelasi dengan dampak positif (v) terhadap desain yang mudah dibongkar pasang. Kemudian terdapat korelasi antara jenis material dengan fitur pembersih saringan memiliki dampak hubungan positif (v). Selain itu, korelasi desain yang mudah dibongkar pasang dengan fitur pembersih saringan dan fitur sekat memiliki dampak korelasi yang sangat positif (vv). Tahap berikutnya melakukan perhitungan prioritas dengan menghitung nilai *normalized raw weight*. Berikut hasil perhitungan prioritas menggunakan HOQ yang disajikan dalam gambar 6 berikut.

Direction of Goodness																	
No	Needs Statement	Metric															
		Diameter roller	panjang roller	Lebar Sekat	Panjang Sekat	Tinggi Sekat	Desain yang mudah dibongkar pasang	Jenis Material kuat dan tahan lama	Fitur Pembersih saringan	Fitur Sekat	Customer Satisfaction	Importance to customer	Goal	Improvement ratio	Score Point	Raw weight	Normalized raw weight
		1	2	3	4	5	6	7	8	9							
1	Produk dirancang sederhana	2.38	2.38	2.38	2.38	2.38	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	3.33	3.17	1.06	1.50	5.28	0.27
2	Produk mudah dibersihkan dan	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	1.74	0.58	0.58	0.58	3.33	3.67	3.50	1.05	1.00	3.86	0.18
3	Produk tahan lama	0	0	0	0	0	0.83	2.49	0.83	0.83	3.67	3.67	3.67	1.00	1.50	5.50	0.26
4	Produk dapat mengurangi tumpahnya nur ke lantai produksi	1	1	1	1	1	3	1	9	9	4.00	3.67	3.63	0.96	1.50	5.27	0.26
	Unit	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	1	0.26	2.38	2.38							
	Difficulty Level	1	2	3	4	5	6	7	8	9							
	Raw Weight	3.53	3.53	3.53	3.53	3.53	4.16	3.53	4.59	4.59							
	Normalized Raw Weight	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.15	0.90	0.94	0.94							
	Decision	5	5	5	5	5	4	1	1	1							

Gambar 6
House of Quality

Tabel 14
Priority ranking technical responses

Rangking	Technical Response
1	Fitur pembersih saringan
1	Fitur Sekat
2	Desain yang mudah dibongkar pasang
3	Jenis material kuat dan tahan lama
4	Tinggi sekat
4	Lebar sekat
4	Panjang sekat
4	Diameter roller
4	Panjang roller

Berdasarkan peringkat prioritas *technical responses* pada tabel 14 yang ditentukan berdasarkan pengurutan nilai *normalized raw weight* secara menurun dimulai dari nilai yang terbesar hingga yang terkecil. Diketahui fitur pembersih saringan menjadi prioritas *technical responses* karena memiliki peringkat tertinggi.

F. Concept Generation

Pada tahap *concept generation* melakukan eksplorasi secara eksternal dan internal untuk menghasilkan beragam solusi potensial yang memenuhi kebutuhan *technical response* yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Hasil eksplorasi terangkum dalam tabel 15 sebagai berikut.

Tabel 15
Concept generation

Option	Function				
	1	2	3	4	5
Option 1	Fitur pembersih saringan	Fitur sekat	Desain yang mudah dibongkar pasang	Jenis material kuat dan tahan lama	Dimensi produk
Option 2					
	Air-kulfe Machine	Sekat (452 x 5 x 25) cm	Arm bracket	Aluminium	P x L x T (460 x 8,9 x 14,1) cm
Option 3					
	Roller			Stainless Steel 304	P x T (455 x 8) cm
Option 3					
				Carbon Steel	

Setelah dilakukan eksplorasi dari berbagai sumber, diperoleh beberapa opsi solusi untuk setiap *technical response*. Opsi yang diperoleh kemudian dirancang menjadi beberapa konsep untuk dilakukan proses *screening* dengan tujuan mendapatkan konsep pilihan terbaik untuk dikembangkan.

G. Concept Selection

Pada tahap pemilihan konsep atau *concept selection* merupakan tahapan mengevaluasi konsep yang berhubungan dengan *customer needs* dan kriteria lain dengan membandingkan komponen-komponen menjadi beberapa opsi pilihan. Kombinasi komponen disusun berdasarkan klasifikasi kebutuhan konsumen terhadap produk. Berikut rancangan konsep yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 16
Rancangan konsep

Option	Technical response				
	1	2	3	4	5
	Fitur pembersih saringan	Fitur sekat	Desain mudah dibongkar pasang	Jenis material kuat dan tahan lama	Dimensi produk
Konsep A					
	<i>Air-knife Machine</i>	Sekat (452 x 5 x 25) cm	<i>Arm bracket</i>	<i>Aluminium</i>	P x L x T (455 x 8,9 x 14,1) cm
Konsep B					
	<i>Roller</i>	Sekat (452 x 5 x 25) cm	<i>Arm bracket</i>	<i>Stainless steel 304</i>	D x P (8 x 455) cm
Konsep C					
	<i>Roller</i>	Tanpa sekat	<i>Arm bracket</i>	<i>Carbon steel</i>	D x P (8 x 455) cm

Berdasarkan tabel 16 dapat dilihat bahwa sudah terdapat tiga konsep yang akan dinilai pada tahap *concept scoring*. Berikut merupakan penjelasan dari setiap opsi konsep rancangan pada tabel 16.

1. Konsep A

Konsep A memiliki fitur pembersih saringan menggunakan mesin *air knife* yang mudah di bongkar pasang, menggunakan material alumunium dengan daya tahan dan ketahanan yang sangat baik terhadap korosi, alat ini mampu mengontrol laju aliran gas udara tekanan tinggi untuk membersihkan *nut* yang tersangkut pada lubang *nut grading drum*. Konsep A *Air-knife machine* memiliki dimensi panjang 455 cm, lebar 8,9 cm, dan tinggi 14,1 cm yang dilengkapi dengan fitur sekat dengan dimensi panjang 452 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 25 cm untuk menghilangkan *nut* yang bertumpuk di lantai produksi.

2. Konsep B

Konsep B memiliki fitur pembersih saringan menggunakan *roller* berbahan *stainless steel 304* yang mudah di bongkar pasang. *Stainless steel 304* memiliki permukaan material yang halus dan mudah dibersihkan serta memiliki daya tahan dan ketahanan yang sangat baik terhadap korosi. Alat ini menekan *nut* yang tersangkut pada lubang *nut grading drum* untuk dimasukkan kembali ke proses pengayakan *nut*. Konsep B *roller* memiliki dimensi dengan diameter 8 cm dan panjang 455 cm yang dilengkapi dengan fitur sekat dengan dimensi panjang 452 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 25 cm untuk menghilangkan *nut* yang bertumpuk di lantai produksi.

3. Konsep C

Konsep C memiliki fitur pembersih saringan menggunakan *roller* yang mudah di bongkar pasang, menggunakan material *carbon steel* yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi dan juga mampu menahan tekanan dan beban tinggi, alat ini menekan *nut* yang tersangkut dari lubang *nut grading drum* untuk dimasukkan kembali ke dalam proses pengayakan *nut*. Konsep C memiliki dimensi dengan

diameter 8 cm dan panjang 455 cm, tidak dilengkapi dengan fitur sekat untuk menghilangkan *nut* yang bertumpuk di lantai produksi.

H. Concept Screening

Pada tahap *concept screening* melakukan pemilihan rancangan konsep terbaik dari beberapa alternatif. Tahap awal *concept screening* yaitu mengklasifikasikan *need statement* ke dalam *selection criteria* yang disajikan pada tabel 17 berikut.

Need Statement	Selection Criteria
Kebutuhan Pelanggan	
Produk dirancang sederhana	Kemudahan perawatan
Produk mudah dibersihkan dan dirawat	
Produk kuat dan tidak mudah berkarat	Daya tahan dan ketahanan korosi
Produk dapat mengurangi tumpahan <i>nut</i> ke lantai produksi	Pengurangan tumpahan <i>nut</i>
Kebutuhan stakeholder	
Biaya produk	Stakeholder need

Tahap selanjutnya diberikan penilaian dengan *relative score* untuk setiap konsep alternatif dibandingkan dengan konsep acuan untuk tiap kriteria. Berikut tabel *relative score* yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 17
Relative score

Relative score	Sign
<i>Worse than reference</i>	-
<i>same as reference</i>	0
<i>Better than reference</i>	+

Tabel 18
Screening concept

Selection Criteria	Concepts			Reference
	A	B	C	
Kemudahan perawatan	-	+	+	0
Daya tahan dan ketahanan korosi	+	+	-	0
Pengurangan tumpahan <i>nut</i>	+	+	-	0
Biaya produk	-	-	-	0
sum + 's	2	3	1	
sum 0's	0	0	0	
sum - 's	2	1	3	
Net Score	0	2	-2	
Rank	2	1	3	
Continue?	Tidak	Ya	Tidak	

Berdasarkan data pada Tabel 18, disimpulkan bahwa Konsep B memiliki *rank* tertinggi karena memiliki nilai *net score* paling besar dibandingkan dengan Konsep A dan Konsep C. Oleh karena itu, Konsep B dipilih untuk dilanjutkan pengembangannya.

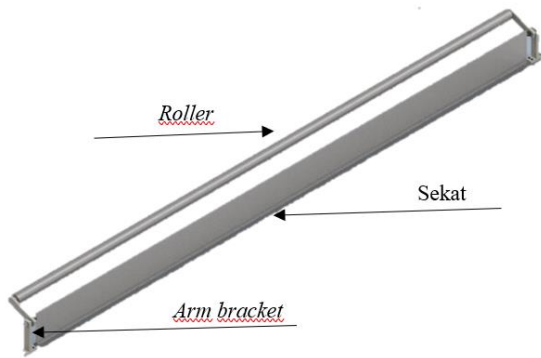
I. Hasil Rancangan

Proses seleksi konsep menghasilkan konsep B sebagai desain terpilih untuk tahap perancangan lanjutan. Tabel IV.17 menyajikan spesifikasi teknis produk berdasarkan konsep tersebut

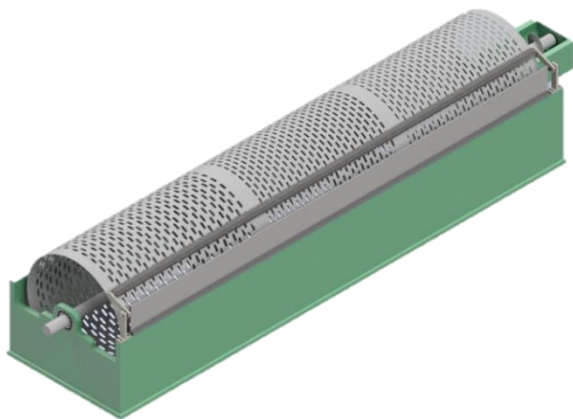
Tabel 19
Spesifikasi hasil rancangan

No	Metric	Konsep B	Value
1	Fitur pembersih saringan	Roller	Binary
2	Fitur Sekat	Sekat	Binary
3	Desain yang mudah dibongkar pasang	Arm bracket	Binary
4	Jenis material kuat dan tahan lama	Stainless steel 304	Type
5	Diameter roller	8	cm
6	Panjang roller	455	cm
7	Tinggi sekat	25	cm
8	Lebar sekat	5	cm
9	Panjang sekat	452	cm

Tahap berikutnya membuat gambar desain 3D alat bantu usulan sesuai konsep terpilih dari spesifikasi pada tabel 19. Gambar desain 3D dapat dilihat pada gambar



Gambar 7
Palm kernel sieve self-cleaning device



Gambar 8
Penerapan alat bantu pada mesin nut grading drum

Terlihat pada gambar 8 merupakan penerapan alat bantu yang dirancang untuk membantu proses ayakan nut lebih maksimal, mengurangi nut terbuang ke lantai produksi dan mengurangi tercampurnya beragam ukuran nut pada tempat penyimpanan nut sehingga proses pemecahan nut atau ripple mill menjadi lebih optimal.

V. VALIDASI, ANALISIS, HASIL, DAN IMPLIKASI

A. Validasi Hasil Rancangan

Setelah perancangan alat bantu pembersih saringan nut telah dibuat, langkah selanjutnya adalah validasi. Validasi digunakan dengan tujuan untuk memastikan alat yang dirancang sesuai dengan kebutuhan perusahaan. Pada tabel 20, disajikan target validasi dan pemenuhan sesuai dengan hasil rancangan, kemudian dilakukan pengajuan lembar validasi kepada perusahaan.

Tabel 20
Validasi hasil rancangan

Kategori Validasi	Target Validasi	Pemenuhan
Target Kinerja	Hasil rancangan dapat membersihkan nut yang tersangkut pada lubang nut grading drum serta mengurangi dampak tumpahan nut ke lantai produksi	Alat dapat membantu operator membersihkan lubang nut secara otomatis dan mengurangi campuran nut hasil pengayakan nut
	Produk dirancang sederhana	Alat pembersih drum memiliki dimensi dengan diameter 8 cm dan panjang 455 cm. Sekat berdimensi 452 x 5 x 25 cm
	Produk mudah dibersihkan dan dirawat	Alat pembersih drum mudah untuk dibongkar pasang
	Produk kuat dan tidak mudah berkarat	Alat pembersih drum menggunakan material berjenis stainless steel 304 yang tahan terhadap korosi dan tidak mudah rusak
Stakeholder Requirement	Produk dapat mengurangi tumpahan nut ke lantai produksi	Alat memiliki sekat yang dapat menghalangi tumpahan nut ke lantai produksi

B. Analisis Hasil Rancangan

Tahap analisis rancangan meliputi kelebihan dan kekurangan, serta solusi mengatasi kelemahan hasil rancangan alat palm kernel sieve self-cleaning. Evaluasi hasil rancangan disajikan pada tabel 21 berikut.

Tabel 21
Analisis hasil rancangan

Kelebihan	Kekurangan	Solusi kekurangan
Alat menggunakan desain roller yang secara otomatis	Roller yang terus bergesekan dengan nut dan nut grading drum berisiko	Menambahkan lapisan karet keras (hardened rubber) pada permukaan roller untuk

Kelebihan	Kekurangan	Solusi kekurangan
membersihkan <i>nut</i> tersangkut pada lubang pengayakan <i>nut grading drum</i> dan sekat yang terintegrasi mencegah <i>nut</i> terlempar ke lantai produksi	aus atau rusak setelah penggunaan intensif	mengurangi gesekan dan keausan.
	Pemasangan yang tidak akurat menyebabkan <i>roller</i> tidak dapat menjangkau lubang pengayakan <i>nut grading drum</i> secara optimal	Menggunakan panduan mekanis pemasangan <i>roller</i> pada <i>nut grading drum</i> untuk memastikan pemasangan secara konsisten dan akurat sehingga alat dapat bekerja dengan baik

C. Analisis Implementasi

Analisa berbagai aspek perlu dipertimbangkan untuk mengimplementasikan usulan rancangan yang telah dibuat. Terdapat beberapa faktor yang harus dipertimbangkan oleh perusahaan yaitu:

1. Faktor Biaya

Perusahaan perlu mengalokasikan anggaran untuk merealisasikan rancangan alat usulan sesuai dengan komponen-komponen yang telah ditentukan. Berikut adalah rincian estimasi anggaran yang diperlukan, terlampir pada tabel V.3.

Tabel 22
Estimasi Anggaran

Nama Part	Unit	Harga	Sumber
<i>Roller</i>	1 Unit	Rp 390.000	Monotaro.id
<i>Stainless steel 304</i>	5 Meter	Rp 1.025.000	Shopee
Baut JF	23 Unit	Rp 11.500	Shopee
Baut dan Mur M20	2 Unit	Rp 38.400	Shopee
<i>Bearing</i>	2 Unit	Rp 64.000	Shopee
<i>Arm bracket</i>	2 Unit	Rp 300.000	Shopee
Total		Rp 1.678.900	

Berdasarkan tabel V.3 diketahui bahwa perusahaan perlu mengeluarkan anggaran minimum sebesar Rp. 1.678.900 untuk merancang alat usulan sesuai dengan komponen-komponen yang telah ditentukan.

2. Faktor Manusia

Diperlukan kegiatan sosialisasi atau pelatihan kepada operator untuk memahami cara kerja, prosedur pemasangan, dan perawatan alat *palm kernel sieve self-cleaning*.

3. Faktor Mesin

Perusahaan memastikan bahwa semua komponen yang diperlukan untuk membuat alat *palm kernel sieve self-cleaning* telah tersedia. Daftar komponen yang dipersiapkan terdapat pada tabel V.3.

4. Faktor Material

Perusahaan harus memastikan ketersediaan material yang digunakan sesuai dengan kebutuhan rancangan. Ketersediaan material yang digunakan pada rancangan ini mencakup material utama *roller* dan *stainless steel 304*, dan material pendukung seperti baut JF, baut dan mur M20, *bearing*, dan *arm bracket*.

D. Implikasi Tugas Akhir

Berdasarkan hasil analisis penyelesaian masalah dan rancangan alat bantu pada proses *nut grading*, penelitian ini memberikan implikasi signifikan bagi PT XYZ dalam berbagai aspek. Berikut merupakan implikasi yang dapat diwujudkan:

1. Pengurangan defect kernel pecah

Alat *palm kernel sieve self-cleaning* dirancang untuk mencegah penyumbatan *nut* di lubang mesin *nut grading drum* dan menampung *nut* yang terlempar. Dengan mengurangi tercampurnya beragam ukuran *nut* di *nut hopper*, defect kernel pecah diproyeksikan turun dibawah 15%

2. Peningkatan efisiensi operasional

Operator tidak perlu membersihkan *nut* yang tersumbat secara manual selama operasi.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan rancangan alat *palm kernel sieve self-cleaning* untuk meminimasi defect kernel pecah pada proses *nut grading* di PT XYZ. Alat ini dirancang dengan dimensi diameter *roller* 8 cm dan panjang 452 cm, dilengkapi sekat berukuran 452 cm × 5 cm × 25 cm, serta menggunakan material *stainless steel 304* yang tahan korosi. Konsep B memenuhi seluruh *technical response* seperti fitur pembersih saringan otomatis (*roller*), desain *arm bracket* yang mudah dibongkar pasang, dan kemampuan mengurangi tumpahan *nut* ke lantai produksi. Hasil verifikasi dan validasi membuktikan alat ini sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan *stakeholder*, terutama dalam hal kemudahan perawatan, ketahanan material, serta pencegahan pencampuran ukuran *nut* di *nut hopper*. Dengan adanya alat ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional mesin *nut grading* dan menekan jumlah defect kernel pecah di bawah batas toleransi 15 % sesuai yang ditetapkan PT XYZ.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan saran yang dapat penulis berikan sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan

Perusahaan dapat mengimplementasikan alat *palm kernel sieve self-cleaning* yang telah dirancang pada penelitian ini, dengan menyiapkan anggaran yang diperlukan untuk pembuatan alat dan pelatihan operator. Fokus pelatihan harus mencakup prosedur pemasangan/bongkar pasang *arm bracket*, inspeksi keausan *roller*, serta teknik pembersihan sekat. Selain itu, perusahaan perlu memantau dampak pasca implementasi melalui pengukuran bulanan persentase defect kernel

pecah dengan target dibawah 15%, volume nut tumpah ke lantai produksi, dan efisiensi waktu operasional. Validasi awal menunjukkan alat mampu mengurangi pencampuran ukuran nut di *nut hopper*, namun akurasi pemasangan harus dipastikan menggunakan panduan mekanis untuk menghindari ketidaksesuaian jangkauan *roller*.

2. Bagi peneliti selanjutnya

Peneliti selanjutnya dapat dapat mengembangkan sistem otomasi berbasis IoT (*Internet of Things*) untuk memantau penyumbatan lubang saringan pada mesin *nut grading drum* secara *real-time* dan keausan *roller* melalui sensor getaran.

REFERENSI

- [1] A. Candra, *DASAR-DASAR TEKNIK INDUSTRI: Konsep, Aplikasi, Dan Contoh Penerapan*, 1st ed. PENERBIT KBM INDONESIA, 2025.
- [2] T. Stern, *Lean Six Sigma: International Standards and Global Guidelines*, 3rd ed. Scopindo Media Pustaka, 2024.
- [3] D. A. Walujo, T. Koesdijati, and Y. Utomo, *PENGENDALIAN KUALITAS*. SCOPINDO MEDIA PUSTAKA, 2020.
- [4] T. T. Allen, *Introduction to engineering statistics and lean six sigma: Statistical quality control and design of experiments and systems*, vol. 3. London: Springer, 2019. doi: 10.1007/978-1-4471-7420-2.
- [5] M. B. Jones and J. Dowdall, *Lean Six Sigma For Dummies*, 4th ed. Canada: Hoboken, 2022. [Online]. Available: <http://www.wiley.com/go/permissions>.
- [6] T. Pebrianti, U. B. Nasution, N. Anwar, D. Wulandari, and I. Mawarni, *Buku Ajar Manajemen Operasional*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.
- [7] F. Sulaiman and J. Meliza, *Quality Function Deployment (QFD) Perspektif UMKM dan Institusi Pendidikan*. Penerbit P4I, 2023.
- [8] M. Haming and M. Nurnajamuddin, *Manajemen Produksi Modern: Operasi Manufaktur dan Jasa*, 3rd ed. Bumi Aksara, 2022.