

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka adalah ringkasan tertulis terkait dengan teori-teori yang digunakan untuk penelitian. Ringkasan teori tersebut didapatkan dari beragam artikel seperti jurnal, buku, dan dokumen lainnya. Sumber yang digunakan dalam tinjauan pustaka sendiri haruslah studi penelitian terbaru dan telah terbukti dan diakui secara ilmiah (Abdillah, 2021). Tujuan dibuatnya tinjauan pustaka sendiri yaitu untuk menelusuri seluruh informasi dengan melihat perkembangan teori terbaru, relevansi, kualitas, kontroversi, dan kesenjangan dari penelitian yang dilakukan (Walliman, 2011). Oleh karena itu, dengan tujuan tersebut, nantinya tinjauan pustaka yang digunakan dapat berkontribusi terhadap penelitian agar penelitian yang dilakukan benar-benar memberikan dampak bagi suatu *body of knowledge* (Abdillah, 2021).

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah salah satu langkah peneliti dalam membandingkan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu. Tujuan perbandingan dengan penelitian terdahulu yaitu agar peneliti mampu menemukan inspirasi yang merujuk pada unsur kebaruan dan menunjukkan originalitas dari penelitian yang dilakukan. Pada bagian ini, peneliti menjabarkan secara ringkas dan terperinci mengenai berbagai hasil penelitian terdahulu dan matriks perbandingan dari tujuan, permasalahan, dan metode. Penelitian terdahulu yang ditinjau oleh peneliti sendiri disesuaikan dengan tujuan utama penelitian peneliti yaitu penentuan metode pengendalian kualitas untuk perbaikan dan peningkatan kualitas pada proses produksi Teh. Dalam mencari penelitian terdahulu, terdapat beberapa temuan penelitian yang ditinjau. Penelitian yang digunakan oleh peneliti untuk peninjauan penelitian terdahulu merupakan penelitian yang dilakukan oleh Lukodono, dkk. (2018), Rufaidah, dkk. (2018), Wang, dkk. (2018), Nordin, dkk. (2019), Pranata (2019), Ting, dkk (2019), Chen, dkk. (2020), Maksum, dkk. (2020), Raghunath dan Mallikarjunan (2020), Asih, dkk. (2021), Dao, dkk (2021), Makhdum dan Yulianto (2021), Parvez, dkk. (2021), Putri, dkk. (2021), Sari (2021), Simatupang, dkk. (2021), Astutik dan Mahbubah, (2022), Chandrahadinata dan Kusuma (2023), Ghasemi (2022), Hossain, dkk. (2022), Palupi, dkk. (2022), Rittisak, dkk. (2022), Illiyastia, dkk. (2023), dan Sinaga, dkk. (2023).

Penelitian-penelitian yang digunakan peneliti dalam melakukan tinjauan penelitian terdahulu memiliki konsentrasi penelitian mengenai pengendalian kualitas pada proses pengolahan. Namun, penelitian-penelitian tersebut memiliki tujuan dan permasalahan yang berbeda-beda. Rufaidah, dkk. (2018), Putri, dkk. (2021), Sari (2021) Chandrahadinata dan Kusuma (2022), Illiyastia, dkk. (2023), dan Sinaga, dkk. (2023) memiliki kesamaan tujuan penelitian yaitu mencari penyebab kecacatan proses pengolahan teh di pabrik dan memberikan usulan perbaikan guna menurunkan kasus kecacatan produk teh. Penelitian yang dilakukan oleh Lukodono, dkk. (2018), Wang, dkk. (2018), Nordin, dkk. (2019), Pranata (2019), Ting, dkk. (2019), Chen, dkk. (2020), Maksum, dkk. (2020), Raghunath dan Mallikarjunan. (2020), Dao, dkk. (2021), Makhdom dan Yulianto (2021), Parvez, dkk. (2021), (2021), Ghasemi (2022), Hossain, dkk. (2022), dan Rittisak, dkk. (2022) memiliki kesamaan tujuan yaitu mencari titik optimal suatu faktor dalam proses pengolahan di pabrik. Hal tersebut dilakukan guna meningkatkan kualitas proses produksi dan mendapatkan mutu teh dengan kualitas optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Asih, dkk. (2021), Simatupang, dkk. (2021), Palupi, dkk. (2022), Astutik dan Mahbubah (2022), Illiyastia, dkk. (2023), dan Sinaga, dkk. (2023) memiliki kesamaan tujuan yaitu terkait mengukur kinerja pengendalian kualitas, mencari penyebab kecacatan suatu proses produksi, dan memberikan usulan perbaikan untuk meningkatkan kinerja dari proses produksi tersebut.

Setelah melakukan analisis terhadap tujuan dari penelitian, selanjutnya dilakukan analisis terhadap permasalahan yang dihadapi dengan metode yang digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian yang dilakukan oleh Lukodono (2018), Rufaidah, dkk. (2018), Asih, dkk. (2021), Putri, dkk. (2021), Sari (2021), Simatupang, dkk. (2021), Astutik dan Mahbubah (2022), Chandrahadinata dan Kusuma (2023), Palupi, dkk. (2022), dan Sinaga, dkk. (2023) memiliki kesamaan permasalahan yaitu terkait banyaknya produk cacat dan tidak sesuai dengan standar perusahaan. Penelitian yang dilakukan oleh Nordin, dkk. (2019), Chen, dkk. (2020), Ma ksum, dkk. (2020), Raghunath dan Mallikarjunan (2020), Parvez, dkk. (2021), Ghasemi (2022), Hossain, dkk. (2022), dan Rittisak, dkk. (2022) memiliki kesamaan permasalahan yaitu proses pengolahan teh di pabrik yang tidak sesuai dengan standar. Penelitian yang dilakukan oleh Wang, dkk. (2018), Ting, dkk (2019), Makhdom dan Yulianto (2021), dan Illiyastia, dkk. (2023) memiliki kesamaan permasalahan yaitu terdapat proses produksi yang tidak sesuai dengan

standar perusahaan. Penelitian yang dilakukan oleh Pranata (2019) memiliki permasalahan yaitu terjadinya kesalahan pada mesin produksi teh hitam.

Kesimpulan dan hasil capaian dari masing-masing penelitian yang digunakan sebagai tinjauan pustaka penelitian terdahulu juga ditinjau. Penelitian yang dilakukan oleh Rufaidah, dkk (2018) berhasil mengidentifikasi permasalahan penyebab kecacatan produk selama proses produksi pada CV. Graha Rejeki Indonesia. Selain itu, usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas mutu produksi dan menekan kecacatan produk yaitu dengan siklus PDCA dan 5S. penelitian yang dilakukan oleh Lukodono, dkk (2018) berhasil menentukan faktor dan level faktor yang secara signifikan berpengaruh perubahan kadar kafein. Oleh karena itu, pada penelitian tersebut, kopi arabica dapat disesuaikan kadar kafeinnya karena telah ditemukan faktor yang signifikan terhadap perubahan kafein. Penelitian yang dilakukan oleh Wang, dkk (2018) berhasil memodelkan parameter optimal pembuatan teh hitam instan dengan karakteristik warna merah terang, tampilan baik, dan kadar TB yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh (Pranata, 2019) berhasil dalam mengetahui pengaturan optimal mesin pengering ECP pada simulasi tray agar mesin dapat memiliki ketahanan yang baik dari stress. Selain itu, penelitian ini juga berhasil dalam mengetahui faktor signifikan terhadap stress mesin. Maksum, dkk (2020) berhasil dalam mengetahui kadar air yang optimal dalam proses fermentasi basah proses produk green bean kopi robusta. Raghunath dan Mallikarjuna (2020) berhasil dalam melakukan optimalisasi kondisi UAE (*Ultrasonic Assisted Extraction*) untuk teh hitam jenis *cold-brewed*. Selain itu, penelitian ini juga memberikan pengetahuan mengenai parameter kritis untuk respon yang dibutuhkan. Penelitian yang dilakukan Chen, dkk (2020) berhasil dalam menemukan kombinasi desain *Taguchi* untuk menyaring faktor-faktor signifikan. Selain itu, penelitian ini juga berhasil menggunakan metode RSM untuk mengetahui kondisi optimal ekstraksi daun kopi. Penelitian yang dilakukan Parvez (2021) berhasil dalam menemukan parameter ekstraksi dan mengoptimalkan parameter tersebut untuk ekstraksi teh hijau asin yang memiliki rendemen tinggi, kaya antioksidan dan polifenol, dan lebih rendah kafein. Penelitian yang dilakukan oleh Sari (2021) berhasil menguraikan proses produksi kopi, mengetahui faktor penyebab kerusakan dan kecacatan produk, metode pengendalian kualitas yang telah dilakukan, dan usulan tindakan bagi perusahaan guna mengatasi kecacatan produk. Penelitian yang dilakukan oleh Asih, dkk (2021) berhasil menganalisis metode pengendalian kualitas yang sudah berjalan

pada produk teh, menentukan faktor yang menyebabkan kecacatan produk, mengetahui faktor waste, dan menghitung nilai sigma dari proses produksi di PT XY. Penelitian yang dilakukan oleh Mahdum dan Yulianto (2021) berhasil melakukan optimasi pada proses ekstraksi *theaflavin* dari fermentasi daun teh dengan pancaran sinar uv. Parameter yang dioptimasi untuk menghasilkan kadar *theaflavin* paling optimal adalah suhu. Penelitian yang dilakukan oleh Putri, dkk (2021) berhasil mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produksi teh, mengetahui faktor dominan kualitas teh, memberikan usulan perbaikan paling tepat untuk memperbaiki kualitas produksi. Penelitian yang dilakukan oleh Simatupang, dkk (2021) berhasil mengetahui optimalisasi pengendalian kualitas yang telah dilakukan oleh UMKM Kopi Partungkoan. Selain itu, usulan perbaikan untuk mencegah kecacatan produk juga diberikan dengan hasil analisis di lapangan. Penelitian yang dilakukan oleh Palupi, dkk (2022) berhasil mengetahui tingkat kecacatan produk dan penyebab terjadinya kecacatan produk. Penelitian yang dilakukan oleh Astutik dan Mahbubah (2022) berhasil mengetahui jenis dan persentase kecacatan produk. selain itu, pada penelitian ini juga dianalisis penyebab terjadinya kecacatan produk. Usulan perbaikan untuk mengatasi kecacatan juga diberikan oleh peneliti. Penelitian yang dilakukan oleh Hossain, dkk (2022) berhasil mengetahui pengaruh dari kondisi optimal parameter-parameter fermentasi yaitu waktu, suhu dan kelembapan selama proses fermentasi teh hitam BT-2. Selain itu, penelitian ini juga berhasil mengetahui kondisi optimal dari parameter waktu, suhu, dan kelembapan dalam melakukan proses fermentasi teh hitam BT-2. Penelitian yang dilakukan oleh Ritttisak, dkk (2022) berhasil mengetahui kondisi parameter ekstraksi seperti suhu dan waktu secara optimal untuk mendapatkan kandungan antioksidan, polifenol, dan rasa yang optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Ghasemi (2022) berhasil melakukan optimasi media kultur untuk memaksimalkan produksi enzim polifenol oksidase dan peroksidase oleh *Strain Bacillus*. Penelitian yang dilakukan oleh Illiyastia, dkk (2023) berhasil mengetahui nilai sigma, *quality level*, faktor terjadinya kecacatan produk, dan memberikan usulan perbaikan terkait perbaikan proses pengeringan. Penelitian yang dilakukan oleh Sinaga, dkk (2023) berhasil mengetahui jenis dan persentase kecacatan dominan, mengetahui penyebab kecacatan produk, dan memberikan usulan perbaikan. Matriks perbandingan digunakan untuk memperjelas perbandingan antara masing-masing penelitian terdahulu sebagai tinjauan pustaka yang ditampilkan pada tabel 2.1. di bawah ini.

Tabel 2.1. Matriks Perbandingan Penelitian Terdahulu untuk Pemilihan Alternatif Solusi

No	Penulis	Tahun	Objek Penelitian	Tujuan Penelitian	Permasalahan	Metode yang Digunakan
1	Lukodono, dkk	2018	CV. Nurtanio Abadi	Mengetahui faktor dan level optimal faktor yang secara signifikan mempengaruhi perubahan kadar kafein dalam produksi produk kopi bubuk Arabica Java Ijen-Raung.	Banyak perusahaan kopi yang masih belum memperhatikan kadar kafein dalam kopi.	<i>Taguchi</i>
2	Rufaidah, dkk	2018	CV. Graha Rejeni Indonesia Lamongan	Mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan cacat produk <i>coffee chocolate creamer</i> dan memberikan usulan perbaikan untuk mengurangi kecacatan produk.	Terdapat produk cacat pada proses produksi <i>coffee chocolate creamer</i> .	<i>Kaizen (5s dan PDCA)</i>
3	Wang, dkk	2018	Damin Foodstuff (Zhangzhou) Co., Ltd (Fujian, China).	Melakukan optimalisasi berbagai respon pada produksi teh hitam instan pada proses fermentasi.	Adanya kontaminasi mikroba pada proses fermentasi teh hitam dan proses produksi teh hitam yang tidak dilakukan secara otomatis.	RSM (<i>Response Surface Methodology</i>)
4	Nordin, dkk	2019	BOH Heritage Tea Centre and Factory	Mengoptimalkan kinerja pengering SHS (<i>Superheated System</i>) untuk produksi teh hitam yang berkualitas.	Hasil pengeringan teh hitam yang tidak sesuai standar yaitu menurunkan kadar air tidak melebihi 3%	RSM
5	Pranata	2019	PT Perkebunan Nusantara VIII (PTPN VIII)	Mengetahui pengaturan faktor optimum mesin pengering ECP pada simulasi <i>tray</i> untuk menghasilkan ketahanan terbaik dan mengetahui faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap hasil simulasi <i>tray</i> .	Terdapat kerusakan <i>tray</i> pada proses pengeringan teh hitam dan berdampak pada <i>bottleneck</i> proses pengeringan.	<i>Taguchi, Computational Fluid Dynamics (CFD), dan Static Structural)</i>

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Penulis	Tahun	Objek Penelitian	Tujuan Penelitian	Permasalahan	Metode yang Digunakan
6	Ting, dkk	2019	Changsha Xiangfeng Intelligent Equipment Co., Ltd.	Mengetahui parameter struktural terhadap kinerja proses pelayuan teh untuk dijadikan standar evaluasi dari mesin pelayuan	Terdapat teh yang tidak layu medium dan menyebabkan cacat produk	RSM dan CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>)
7	Chen, dkk	2020	Wize Monkey Inc	Menyaring dan mengoptimalkan komponen yang berpengaruh signifikan dari proses ekstraksi komponen bioaktif dari daun kopi	Ekstraksi bioaktif dari daun kopi yang tidak sesuai dengan standar yaitu 80%	RSM dan <i>Taguchi</i>
8	Maksum, dkk	2020	Produsen Kopi Desa Kalipagu	Mengetahui kadar air optimal fermentasi basah <i>green bean</i> kopi robusta.	Jumlah kadar air dalam proses fermentasi biji kopi hijau melebihi standar yaitu 12,5%	RSM
9	Raghnath dan Mallikarjunan	2020	Tea Co Brenne	Mengoptimalkan kondisi ekstraksi menggunakan dan menggambarkan rinci optimalisasi parameter proses menggunakan UEA	Teknik penyeduhan <i>cold brewed</i> teh hitam yang menghasilkan senyawa bioaktif tidak sesuai standar yaitu $26,74 \pm 0,36 \%$	RSM
9	Raghnath dan Mallikarjunan	2020	Tea Co Brenne	Mengoptimalkan kondisi ekstraksi menggunakan UAE (<i>Ultrasonic Assisted Extraction</i>) dan menggambarkan rinci tentang optimalisasi parameter proses menggunakan UEA untuk ekstraksi senyawa bioaktif dari teh hitam dalam kondisi <i>cold brewed</i> .	Teknik penyeduhan <i>cold brewed</i> pada teh hitam yang dilakukan tidak menghasilkan kandungan senyawa bioaktif aktivitas antioksidan sesuai standar sebesar $26,74 \pm 0,36 \%$	RSM

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Penulis	Tahun	Objek Penelitian	Tujuan Penelitian	Permasalahan	Metode yang Digunakan
9	Raghunath dan Mallikarjunan	2020	Tea Co Brenne	Mengoptimalkan kondisi ekstraksi menggunakan UAE (<i>Ultrasonic Assisted Extraction</i>) dan menggambarkan rinci tentang optimalisasi parameter proses menggunakan UEA untuk ekstraksi senyawa bioaktif dari teh hitam dalam kondisi <i>cold brewed</i> .	Teknik penyeduhan <i>cold brewed</i> pada teh hitam yang dilakukan tidak menghasilkan kandungan senyawa bioaktif aktivitas antioksidan sesuai standar sebesar 26,74 ± 0,36 %	RSM
10	Asih, dkk	2021	PT Teh XY	Menganalisis pengendalian kualitas produk teh hitam dan mengidentifikasi hubungan antara jenis waste pada stasiun kerja serta mengukur nilai nilai sigma.	Terdapat kasus bubuk teh yang mengalami cacat produksi dan dilakukan proses <i>rework</i> .	<i>Six Sigma</i> (DMAIC, <i>current state map</i> , <i>process activity mapping</i> , <i>waste relationship matrix</i> , <i>p-chart</i> , <i>kaizen 5M</i>)
11	Dao, dkk	2021	Cau Dat tea garden,	Mengoptimalkan kondisi spray-drying pada proses pengeringan teh hijau untuk mendapatkan kandungan polifenol yang maksimal	Proses pengeringan yang tidak sesuai dengan standar yaitu menurunkan kadar air yaitu tidak melebihi 2,8%	RSM

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Penulis	Tahun	Objek Penelitian	Tujuan Penelitian	Permasalahan	Metode yang Digunakan
12	Makhdum dan Yulianto	2021	PT Rumpun Sari Medini Limbangan Kendal	Melakukan optimasi proses ekstraksi <i>theaflavin</i> dari fermentasi daun teh dengan pancaran sinar uv.	Tingkat kemurnian senyawa <i>theaflavin</i> pada proses pembuatan teh yang tidak sesuai standar yaitu 18%	RSM dan Diagram Pareto
13	Parvez, dkk	2021	Ashapur Tea Estate	Mempelajari dan mengoptimalkan parameter ekstraksi minuman teh hijau asin dengan rendemen lebih tinggi, kandungan antioksidan dan polifenol tinggi, serta konsentrasi kafein lebih rendah.	Kondisi ekstraksi teh hijau asin tidak menghasilkan senyawa sesuai standar yaitu polifenol sebesar 169-273 mg GAE/g, kafein sebesar 35 mg, dan antioksidan sebesar 22.866 ± 7.036 mg AAE/g	RSM
14	Putri, dkk	2021	Salah satu industri pengolahan teh pada perusahaan BUMN.	Mengetahui penyebab penurunan kualitas teh ditinjau dari kandungan air pada teh agar proses selanjutnya dapat meminimalisir kecacatan produk	Terdapat kasus cacat produk teh hitam yang diakibatkan tidak dilakukannya pengendalian mutu kadar air.	<i>Statistical Process Control (SPC)</i> , <i>check sheet</i> , peta kendali, <i>fishbone diagram</i>
15	Sari	2021	Roastery X	Mengetahui gambaran proses produksi, kinerja pengendalian kualitas, dan menerapkan perbaikan di Roastery X.	Jumlah produk cacat diatas batas standar yang ditetapkan oleh Roastery X sebesar 3%	SPC
16	Simatupang, dkk	2021	Kopi Partungkoan Tarutung,	Mengetahui optimalisasi pengendalian mutu produk yang dilakukan.	Terdapat kecacatan produk dalam proses produksi kopi bubuk	<i>Statistical Quality Control (SQC)</i>

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Penulis	Tahun	Objek Penelitian	Tujuan Penelitian	Permasalahan	Metode yang Digunakan
17	Chandrahadinata dan Kusuma	2022	PT Perkebunan Nusantara VIII	Meningkatkan kualitas proses pengolahan teh hitam <i>orthodox</i> , mencari penyebab kecacatan, dan memberikan usulan perbaikan.	Terjadi kecacatan produk teh yaitu cacat nyeupan, over pelayuan, dan kontaminasi benda asing.	<i>Six Sigma</i> (DMAIC)
18	Astutik dan Mahbubah	2022	UMKM Kopi Bubuk Eyang Kakung	Mengevaluasi, mengidentifikasi, menghitung, menganalisis mutu, dan memperbaiki proses penggilingan kopi	Terjadi kecacatan produk dalam proses penggilingan kopi bubuk	7 QC tools, SPC, dan FMEA
19	Ghasemi	2022	Department of Research and Technology of the Islamic Azad University of Lahijan	Melakukan optimalisasi produksi enzim polifenol oksidase (tirosinase) dan peroksidase menggunakan bakteri <i>Bacillus spp</i>	Hasil enzim pada proses fermentasi yang tidak sesuai dengan standar yaitu polifenol oksidase (tirosinase) dan peroksidase sebesar 2%.	<i>Taguchi</i>
20	Hossain, dkk	2022	Garden of Department of Food Engineering and Tea Technology, Shahjalal University of Science and Technology	Mengetahui pengaruh kondisi fermentasi optimal dan mengoptimalkan setiap parameter dari proses fermentasi teh hitam yang dihasilkan dari varietas Bangladesh Tea 2 (BT-2).	Proses fermentasi teh hitam mutu varietas BT-2 yang tidak sesuai standar yaitu TF diatas 0,3%, TR dibawah 10,37%, HPS diantara 8-11%, TLC diantara 3-6%, and TPC diantara 0.575 g/kg to 6.629 g/kg,	RSM

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Penulis	Tahun	Objek Penelitian	Tujuan Penelitian	Permasalahan	Metode yang Digunakan
21	Palupi, dkk	2022	PT Rumpun Sari Kemuning I	Melakukan pengendalian kualitas dalam bahan baku, proses produksi, dan produk akhir untuk memperbaiki jumlah kecacatan.	Ditemukannya produk cacat yang tidak sesuai dengan standar mutu.	7 QC Tools
22	Rittisak, dkk	2022	The Dongbang Herb Shop	Mengoptimalkan proses ekstraksi teh dengan metode 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) untuk memaksimalkan kandungan total polifenol dan mendapatkan rasa teh herbal yang enak.	Proses ekstraksi pada teh herbal dengan bumbu bibit beras panggang yang tidak sesuai standar yaitu aktivitas DPPH sebesar 69,03% dan kandungan fenolik total sebesar 75,16 mgGAE/g	RSM
23	Illiastia, dkk	2023	PT XY	Mengetahui nilai sigma yang terdapat, mengetahui faktor penyebab terjadinya penyimpangan bubuk teh, dan menentukan alternatif solusi yang terbaik untuk proses pengeringan	Ditemukan bubuk teh dengan kondisi kadar air tidak memenuhi standar pada proses pengeringan maksimal sebesar 3%.	Six Sigma (DMAIC), FMEA (Failure Mode Effect Analysis)
24	Sinaga, dkk	2023	PTPN IV Unit Tobasari	Mengetahui kinerja pengendalian mutu, mengidentifikasi penyebab kecacatan, dan memperbaiki kualitas produk teh hitam pada PTPN IV Unit Tobasari,	Ditemukan produk cacat pada proses produksi PTPN IV Unit Tobasari, sehingga menyebabkan kerugian.	SQC (Diagram Pareto, Fishbone diagram, peta kendali, check sheet)

2.2. Dasar Teori

Dasar teori atau landasan teori merupakan alur logika dan pemikiran yang berisi konsep, pengertian, dan proporsi yang diatur secara sistematis dan terstruktur (Sugiyono, 2019). Penyusunan landasan teori sendiri dilakukan terhadap teori yang relevan terkait penelitian yang dilakukan. Berikut adalah teori yang mendukung penelitian terkait pengendalian kualitas di PT Perkebunan Tambi.

2.2.1. Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas adalah sebuah langkah untuk mencapai sistem manajemen kualitas yang optimal dan dapat dipertahankan sesuai dengan standar yang berlaku (Mitra, 2016). Indikator keberhasilan dalam melakukan pengendalian kualitas ditinjau dari kemampuan capaian proses, spesifikasi, dan biaya kegagalan kualitas (Montgomery, 2020). Dalam melakukan pengendalian kualitas, terdapat 2 metode yang dapat diterapkan yaitu *offline* dan *online* (Mitra, 2016).

a. Metode *offline*

Metode pengendalian kualitas *offline* adalah metode yang bersifat preventif atau pencegahan hal yang tidak diinginkan selama dijalankan proses produksi. Prosedur dijalankannya metode ini yaitu melakukan pemilihan faktor produk maupun proses yang optimal agar *output* produk atau proses yang memiliki penyimpangan dari standar dapat diminimalisir (Mitra, 2016). Tujuan dari metode ini yaitu menghasilkan sebuah desain dengan faktor yang optimal, sehingga pada saat proses produksi, hasilnya dapat sesuai dengan standar yang ditetapkan. Contoh penerapan dari metode ini adalah *Taguchi* dan RSM.

b. Metode *online*

Metode pengendalian kualitas *online* merupakan metode yang bersifat perbaikan terhadap proses yang berjalan. Tujuan dari metode ini dilakukan yaitu untuk memperbaiki dan mencegah kondisi produksi yang tidak terkendali dan terjadi penyimpangan (Putri, 2022). Pengamatan *real time* juga diperlukan dalam meninjau sistem pengendalian kualitas (Mitra, 2016). Beberapa metode yang digunakan untuk pengendalian kualitas secara *online* adalah SPC.

2.2.2. Six Sigma

Six Sigma merupakan sebuah metode pengendalian kualitas dengan menargetkan 3,4 kegagalan dari satu juta kesempatan (Gaspersz, 2002). Tujuan dilakukannya *Six Sigma* dalam pengendalian kualitas adalah untuk meminimalkan kesalahan dan memaksimalkan nilai dari suatu proses (Bicer, 2022). Pada *Six*

Sigma sendiri memiliki program andalan dalam penerapannya. Program tersebut memiliki 6 fase yaitu *define, measure, analyze, improve, dan control* yang disingkat menjadi DMAIC. Siklus DMAIC ini dilakukan secara sistematis dengan berfokus terhadap target *Six Sigma*. Sifat dari fase ini adalah close loop atau berarti peningkatan yang dilakukan adalah secara terus menerus. Siklus DMAIC ini sangat cocok untuk diterapkan untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas pada proses yang sudah berjalan (Sodhi, 2020). Kelima tahapan dalam melakukan implementasi *Six Sigma* untuk siklus DMAIC adalah sebagai berikut (Mittal dkk, 2023).

a. *Define*

Define adalah langkah pertama dalam tahapan implementasi siklus DMAIC *Six Sigma*. Pada tahap ini, beberapa langkah dilakukan sebagai tahapan awal untuk fase ini. Lebih lanjut, fase ini digunakan untuk mengidentifikasi kecacatan yang ada dalam proses. Dalam menjalankan langkah ini, berikut 7 tahapan operasional fase *define* dalam *Six Sigma* beserta penjelasannya.

i. Mendefinisikan penetapan kriteria dalam menjalankan proyek *Six Sigma*

Dalam melakukan langkah pertama ini diperlukan pemilihan kriteria dengan tepat sasaran. Pemilihan kriteria sendiri harus didasarkan terhadap kebutuhan proyek bukan sekedar asal-asalan. Secara umum, langkah ini harus memberikan manfaat terhadap bisnis, memberikan kelayakan, dan dampak terhadap organisasi.

ii. Mendefinisikan peranan seluruh pihak yang terlibat dalam proyek *Six Sigma*

Dalam generalisasi proyek *Six Sigma*, terdapat 6 peranan generik yang bertanggung jawab terhadap jalannya proyek *Six Sigma*. Keenam peranan tersebut dari penanggung jawab sampai anggota adalah dewan kepemimpinan, *champions, master black belts, black belts, green belts*, dan anggota proyek.

iii. Mendefinisikan kebutuhan pelatihan terhadap individu atau pihak yang terlibat dalam proyek *Six Sigma*

Kebutuhan pelatihan perlu untuk dilakukan sesuai kriteria proyek yang dipilih. Pelatihan dilakukan karena *Six Sigma* didasarkan pada organisasi pembelajaran. Hal itu memiliki makna bahwa seluruh pihak harus saling terintegrasi terhadap informasi atau pandangan baru dari pelanggan, lingkungan, dan proses

iv. Mendefinisikan proses kunci yang berkaitan dengan pelanggan dalam proyek *Six Sigma*

Seluruh proyek *Six Sigma* sendiri perlu didefinisikan proses kuncinya, prosesnya, dan pelanggan yang terkait dalam proses tersebut. Dalam menjalankan proyek,

diperlukan sebuah model proses bernama SIPOC yang memiliki kepanjangan (*Suppliers-Inputs-Processes-Outputs-Customers*).

v. Mendefinisikan detail dari pelanggan yang terkait dalam proyek *Six Sigma*

Dalam mendefinisikan kebutuhan mendetail dari pelanggannya, terdapat beberapa langkah kritis yaitu persyaratan *output* dan layanan. Persyaratan *output* adalah target dari produk akhir berupa barang atau jasa. Sedangkan persyaratan pelayanan merupakan pelayanan pada pelanggan. Kedua persyaratan tersebut harus berorientasi terhadap kejadian sebenarnya di lapangan.

vi. Mendefinisikan pernyataan tujuan yang akan dicapai dalam proyek *Six Sigma*

Dalam menjalankan proyek *Six Sigma*, tujuan harus ditetapkan dengan tepat. Pernyataan tujuan yang ditetapkan harus berorientasi terhadap prinsip SMART yaitu *specific, measurable, achievable, result oriented, dan time bound*.

b. *Measure*

Measure adalah langkah kedua dalam tahapan implementasi siklus DMAIC *Six Sigma*. Tahapan *measure* sendiri berorientasi terhadap proses yang terjadi pada produk dengan dasar konsep waktu, biaya, dan kualitas. Dalam menjalankan langkah ini, terdapat 3 hal wajib yang perlu dilakukan sebagai indikator proses. Berikut adalah ketiga hal pokok yang wajib dilakukan menurut Gaspersz (2002).

i. Menentukan titik kritis kualitas atau *Critical to Quality (CTQ)*

Pada penetapan CTQ, seluruh aspek yang ditetapkan harus dapat dikuantitatifkan atau diukur. Dalam hal ini, terdapat beberapa karakteristik yang dapat digunakan. Karakteristik pertama adalah kualitas produk terkait kinerja, fitur, keandalan, *serviceability, conformance, durability*, estetika, dan kualitas. Karakteristik kedua adalah dukungan purna jual meliputi kecepatan penyerahan, konsistensi, tingkat kemampuan pemenuhan pesanan, informasi, tanggapan, dan kebijakan pengembalian. Karakteristik ketiga adalah interaksi antara karyawan dan pelanggan mencakup ketepatan waktu, penampilan karyawan, dan kesopanan.

ii. Mengembangkan rencana pengumpulan data dengan pengukuran langsung di lapangan dan berorientasi terhadap proses, *output*, dan *outcome*.

Pada karakteristik ini, perhitungan dengan peta kendali dapat digunakan sebagai pengukuran kualitas. Pemetaan tersebut dapat menggunakan beberapa *control charts* atau peta kendali seperti *X-R chart, X-S chart, p chart, np chart*, dan sebagainya. Dari peta kendali tersebut, nantinya ukuran kualitas dapat dilihat apakah sudah berada dalam ambang batas standar atau belum.

iii. Mengukur performa atau kinerja sekarang dari proses, *output*, dan *outcome* untuk digunakan sebagai *baseline* dalam menjalankan proyek *Six Sigma*.

Dalam menjalankan *measure*, terdapat pengukuran kinerja *baseline*. Data proses produksi jenis atribut diukur dengan menentukan nilai sigma dalam 9 langkah. Kesembilan langkah tersebut wajib dilakukan untuk menentukan nilai sigma dari proses saat ini sebagai *baseline* yang dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Perhitungan Kapabilitas Proses Data Atribut (Gaspersz, 2002)

Langkah	Tindakan	Persamaan
1	Proses apa yang ingin dianalisis?	-
2	Berapa banyak unit yang dikerjakan atau diproduksi	-
3	Jumlah produk cacat/gagal	-
4	Perhitungan tingkat kecacatan dari langkah 3	= Langkah 3/Langkah 2
5	Menentukan banyaknya CTQ penyebab kecacatan	= Banyaknya CTQ
6	Peluang tingkat cacat terhadap masing-masing atau per karakteristik CTQ	=Langkah 4/Langkah 5
7	Kemungkinan cacat per satu juta kesempatan atau <i>Defect Per Million Opportunities</i> (DPMO)	=Langkah 6 x 1.000.000
8	Konversi DPMO terhadap nilai sigma (gunakan excel)	=NORMSINV(((1000000 -Langkah 7)/1000000))+1,5
9	Kesimpulan	-

c. Analyze

Analyze adalah langkah ketiga dalam tahapan implementasi siklus DMAIC *Six Sigma*. Berikut adalah 4 hal yang harus dilakukan dalam langkah *analyze*.

i. Menentukan dan memastikan kestabilan dan kapabilitas proses

Dalam menentukan dan memastikan kestabilan proses diperlukan analisis mendetail dengan prinsip *zero waste* dan *zero defect*. Diagram *pareto* digunakan untuk mengetahui CTQ paling berpotensi dan diprioritaskan untuk diperbaiki.

ii. Menetapkan target kinerja CTQ

CTQ harus ditetapkan target capaian kinerjanya. Hal ini bertujuan agar target jelas dan masuk akal untuk dicapai. Target kinerja CTQ harus berorientasi terhadap SMART. Penentuan nilai DPMO dan tingkat sigma juga harus dibuatkan target

iii. Mengidentifikasi penyebab akar permasalahan terhadap cacat produk

Pada tahapan ini, hal yang dilakukan adalah dengan mencari akar permasalahan. Akar permasalahan sendiri dapat ditinjau melalui pertanyaan mengapa hingga

sebanyak 5 kali atau disebut 5 *whys*. Metode ini dapat digunakan dalam beberapa tools seperti diagram sebab akibat atau hubungan yaitu IRD.

iv. Mengkonversikan jumlah banyaknya produk cacat dengan biaya kegagalan kualitas/COPQ (*Cost of poor quality*)

Pada langkah ini, nilai sigma dan DPMO tahapan *measure* digunakan kembali. Tujuannya adalah mencocokkan dan mencari nilai COPQ. Nilai COPQ akan menurun dengan diikuti peningkatan nilai sigma dan penurunan DPMO. Tabel konversi COPQ terhadap nilai sigma dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3. COPQ dari Nilai Sigma (Gaspersz, 2002)

Tingkat Nilai Sigma	DPMO	COPQ
1-sigma	691.462	Tidak bisa dihitung
2-sigma	308.538	Tidak bisa dihitung
3-sigma	66.807	25-40% dari penjualan
4-sigma	6.210	15-25% dari penjualan
5-sigma	233	5-15% dari penjualan
6-sigma	3,4	<1% dari penjualan

d. *Improve*

Improve adalah langkah keempat dalam implementasi siklus DMAIC *Six Sigma*. Tahapan *improve* adalah langkah perbaikan terhadap masalah yang diangkat. Tahapan ini juga harus direncanakan dengan matang dan ditentukan solusi terbaiknya. Beberapa tools yang digunakan harus sesuai dengan permasalahan, seperti *kaizen*, *kanban*, *brainstoming*, *Taguchi*, *design of experiments*, dan lainnya. Beberapa parameter indikasi perbaikan harus mulai terlihat pada tahapan ini seperti turunnya DPMO, naiknya nilai sigma, penurunan COPQ, dan lainnya.

e. *Control*

Control adalah langkah operasional terakhir dalam menjalankan siklus DMAIC dalam *Six Sigma*. Dalam fase ini, hasil peningkatan kualitas yang telah dijalankan pada langkah *improve* diuji efektivitasnya. Setelah dinyatakan efektif yaitu dengan mengalami penurunan DPMO dan peningkatan nilai sigma, maka perbaikan perlu distandarisasi. Hal ini dimaksudkan agar perusahaan tidak dapat menggunakan cara lama kembali yang mungkin mengulangi permasalahan yang sama.

2.2.3. Rich Picture

Rich picture adalah sebuah tools yang digunakan untuk menggambarkan detail dari sebuah sistem dengan kondisi tertentu. Tools ini mengarahkan penggunaanya untuk membuat pemetaan dengan dasar petunjuk, struktur, proses, iklim, manusia,

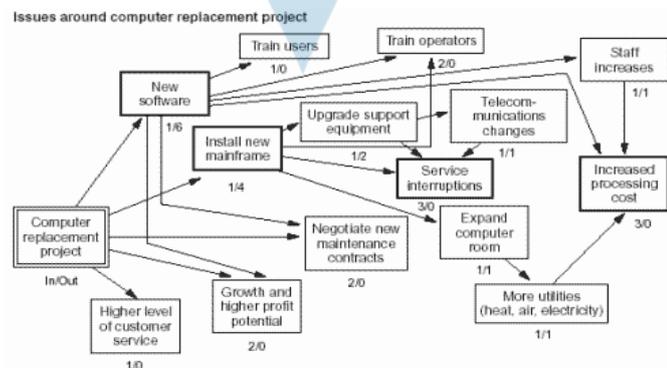
konflik ataupun permasalahan yang terjadi pada sistem (Johnson dan Penn, 2022). *Rich picture* tidak membatasi seluruh hal pada sistem. Dalam artian, fitur ini tidak boleh dibatasi oleh siapapun. Fungsi dari *tools* ini adalah sebagai pemetaan detail dari elemen dan interaksi elemen dalam sistem. Gambar *rich picture* dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1. Rich Picture Layanan Kesehatan Nasional di Inggris
(Sumber: Bell dan morse, 2013)

2.2.4. IRD

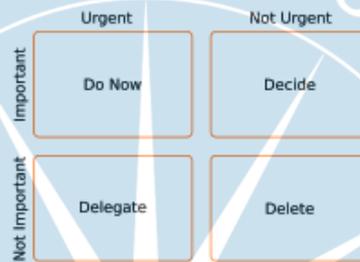
IRD atau *Interrelationship Diagram* adalah salah satu dari metode pengendalian kualitas. Fungsi dari diagram ini yaitu dapat membantu melakukan identifikasi dan mencari akar suatu permasalahan yang diangkat. Konsep yang digunakan adalah konsep 5 *whys* atau sebab akibat. Metode ini juga sering diintegrasikan dalam *Six Sigma* terutama untuk fase *Define* dalam DMAIC (Amalia dkk, 2023). IRD dibuat dengan menghubungkan setiap sebab dan akibat atau keterkaitan dari masing-masing masalah. Jumlah panah paling banyak masuk adalah akar permasalahan utama. Gambar contoh IRD dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2. Interrelationship Diagram (IRD)
(ASQ, 2022)

2.2.5. Eisenhower Matrix

Eisenhower Matrix adalah sebuah diagram yang digunakan dalam perencanaan. Diagram ini memiliki 4 kuadran yaitu *important and urgent*, *important but not urgent*, *urgent but not important*, dan *not important, not urgent*. Permasalahan-permasalahan yang ditemukan dapat dikategorikan ke dalam masing-masing kuadran tersebut. Tujuan dari diagram ini adalah mencegah waktu terbuang akibat penyelesaian masalah yang tidak penting atau mendesak. Dalam diagram ini, kuadran *important and urgent* harus dijadikan sebagai prioritas utama diikuti dengan *important but not urgent*, *urgent but not important*, dan *not important, not urgent*. Gambar Eisenhower Matrix dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3. Eisenhower Matrix

(Bratterud, dkk., 2020)

2.2.6. Control Chart

Control Chart adalah sebuah alat statistik yang tergolong ke dalam pengendalian kualitas *online*. Dikatakan pengendalian kualitas *online* karena untuk mengamati proses yang sedang *ongoing* atau berjalan. *Control chart* sendiri dibedakan menjadi 2 yaitu *control chart* untuk variabel dan atribut. Terdapat 3 jenis *control chart* untuk data variabel yaitu *X chart*, *R chart*, *S chart*, dan *MR chart*. Berikut adalah penjelasan untuk ketiga peta kendali tersebut (Mitra, 2016).

a. X chart

X-Chart adalah peta kendali yang digunakan untuk mengetahui nilai standar dan fluktuasi rata-rata sesuai sampel. Tujuan peta kendali ini adalah menggambarkan variasi dari rata-rata suatu kelompok data. Persamaan 2.1 sampai 2.3 digunakan untuk mendapatkan penggambaran *x-chart*.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^g \bar{X}_i}{g} \quad (2.1)$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \quad (2.2)$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \quad (2.3)$$

Keterangan:

UCL: Upper *Control* Limit

LCL: Lower *Control* Limit

CL: *Control* Limit

\bar{x}_i : Rata rata data xi

$\bar{\bar{X}}$: Rata-Rata nilai \bar{x}_i

g: jumlah sampel

A_2 : Nilai dari Appendix A-7

b. *R-Chart*

R-Chart atau *range chart* adalah peta kendali yang digunakan untuk mengukur variabilitas proses yang harus dikendalikan terlebih dahulu atau yang menjadi prioritas. Dalam penerapannya, peta kendali ini diintegrasikan dengan peta kendali X. *R-chart* harus direvisi jika terjadi penyimpangan di luar batas dan mencari titik penyebabnya. Persamaan 2.4 sampai 2.6 digunakan untuk memetakan *R-chart*.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^g R_i}{g} \quad (2.4)$$

$$UCL_{\bar{R}} = D_4 \bar{R} \quad (2.5)$$

$$UCL_{\bar{R}} = D_3 \bar{R} \quad (2.6)$$

Keterangan:

R_i : *range* atau rentang ke i

\bar{R} : Rata rata range ke i

D_3 & D_4 : Nilai dari Appendix A-7

c. *S-Chart*

S-chart adalah peta kendali untuk memetakan kondisi variasi dengan ukuran sampel lebih besar atau sama dengan 10. *S-chart* berarti *standard deviation chart*. *S-chart* terbagi menjadi dua jenis yaitu tanpa standar dan dengan standar yang diberikan. Persamaan 2.7 sampai 2.11 digunakan untuk memetakan *s-chart* tanpa standar yang diberikan.

$$CL_s = \frac{\sum_{i=1}^g s_i}{g} \quad (2.7)$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s} \quad (2.8)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s} \quad (2.9)$$

$$UCL_{\bar{s}} = B_4 \bar{s} \quad (2.10)$$

$$LCL_{\bar{s}} = B_3 \bar{s} \quad (2.11)$$

Selanjutnya, persamaan 2.12 sampai 2.16 adalah persamaan yang digunakan dalam *s-chart* untuk standar yang diberikan.

$$CL_{\bar{s}} = C_4 \sigma_0 \quad (2.12)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{x}_0 + A \sigma_0 \quad (2.13)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{x}_0 + A \sigma_0 \quad (2.14)$$

$$UCL_{\bar{s}} = B_6 \sigma_0 \quad (2.15)$$

$$UCL_{\bar{s}} = B_5 \sigma_0 \quad (2.16)$$

Keterangan:

σ_i : standar deviasi ke i

\bar{s} : Rata rata *range* ke i

$A_3, B_3, B_4, B_5, B_6,$ dan $c_4 A_3$: Nilai dari Appendix A-7

d. *MR-Chart*

MR-Chart adalah peta kendali untuk data dengan rentang yang bergerak atau berubah. *MR-chart* terbagi menjadi dua jenis yaitu tanpa standar yang diberikan dan dengan standar yang diberikan. Persamaan 2.17 sampai 2.19 adalah persamaan yang digunakan dalam *MR-chart* tanpa standar yang diberikan.

$$CL_{MR} = \overline{MR} \quad (2.17)$$

$$UCL_{MR} = D_4 \overline{MR} \quad (2.18)$$

$$LCL_{MR} = D_3 \overline{MR} \quad (2.19)$$

Persamaan 2.20 sampai 2.22 adalah persamaan yang digunakan dalam *MR-chart* untuk standar yang diberikan.

$$CL_{\bar{x}} = \bar{x}_0 \quad (2.20)$$

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{x}_0 + 3\sigma_0 \quad (2.21)$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{x}_0 - 3\sigma_0 \quad (2.22)$$

Keterangan:

\bar{x}_0 : Rata rata data

\overline{MR} : Rata rata *moving range*

Jenis data kedua adalah data atribut yang merupakan data yang berbentuk kualitatif dan dihitung ataupun dicacah untuk analisis kualitas. Data ini bersifat diskret. Contoh data atribut adalah banyaknya jenis cacat, ketidaksesuaian produk, dan kesalahan administrasi.

a. *P-chart*

P-chart adalah peta kendali yang digunakan untuk melihat proporsi item yang tidak sesuai. Jenis distribusi data yang digunakan untuk memetakan peta kendali ini adalah distribusi binomial. *P-chart* memiliki karakteristik jumlah sampel yang berubah-ubah. Persamaan 2.23 sampai 2.26 adalah persamaan yang digunakan dalam pemetaan *p-chart*.

$$P = \frac{np}{n} \quad (2.23)$$

$$CL/\bar{P} = \frac{\sum np}{\sum n} \quad (2.24)$$

$$UCL = \bar{P} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.25)$$

$$LCL = \bar{P} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (2.26)$$

Keterangan:

np: jumlah kecacatan

n: jumlah produksi/ukuran sampel

Dalam melakukan pemetaan *p-chart*, langkah pertama adalah menghitung nilai dari rerata ketidaksesuaian atau nilai p. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dari *control limit* (CL) atau p bar untuk mendapatkan nilai UCL dan LCL pada masing-masing data. Setelah didapatkan nilai p bar atau CL, maka nilai UCL dan LCL pada tiap sampel dapat dihitung.

b. *np-chart*

np-chart adalah peta kendali yang digunakan untuk menghitung jumlah dari ketidaksesuaian dalam sampel. *Np-chart* berbeda dengan *p-chart* karena peta kendali ini hanya dapat digunakan untuk jumlah sampel yang konstan atau tidak bervariasi. Rumus *np-chart* terbagi untuk pemetaan tanpa standar dan dengan standar. Persamaan 2.27 sampai 2.29 adalah persamaan yang digunakan dalam pemetaan *np-chart* tanpa standar yang diberikan.

$$CL_{np} = \frac{\sum_{i=1}^g x_i}{g} \quad (2.27)$$

$$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (2.28)$$

$$LCL_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \quad (2.29)$$

Sedangkan untuk pemetaan dengan kondisi dengan standar persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.30 sampai 2.32.

$$CL_{np} = np_0 \quad (2.30)$$

$$UCL_{np} = np_0 + 3\sqrt{np_0(1-p_0)} \quad (2.31)$$

$$LCL_{np} = np_0 - 3\sqrt{np_0(1-p_0)} \quad (2.32)$$

Keterangan:

x_i : jumlah ketidaksesuaian sampel ke- i

\bar{p} : proporsi rata-rata sampel yang tidak sesuai (tanpa standar)

p_0 : proporsi rata-rata sampel yang tidak sesuai (dengan standar)

Dalam melakukan pemetaan *np-chart*, langkah pertama adalah menghitung nilai dari rerata ketidaksesuaian (np). Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan dari CL dan menghitung nilai UCL dan LCL pada masing-masing data.

c. *C-chart*

C-chart adalah sebuah peta kendali untuk data atribut yang tidak sesuai dengan spesifikasi. Tujuan dari peta kendali *c-chart* adalah untuk melacak jumlah total ketidaksesuaian pada unit dengan jumlah sampel yang konstan. Rumus *c-chart* terbagi untuk pemetaan tanpa standar dan dengan standar. Persamaan 2.33 sampai 2.35 adalah persamaan yang digunakan untuk *c-chart* tanpa standar yang diberikan.

$$CL_c = \bar{c} \quad (2.33)$$

$$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.34)$$

$$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad (2.35)$$

Sedangkan untuk pemetaan dengan kondisi dengan standar, persamaan yang digunakan adalah persamaan 2.36 sampai 2.38.

$$CL_c = c_0 \quad (2.36)$$

$$UCL_c = c_0 + 3\sqrt{c_0} \quad (2.37)$$

$$LCL_c = c_0 - 3\sqrt{c_0} \quad (2.38)$$

Keterangan:

c: nilai count (hitung)

d. *U-chart*

U-chart adalah peta kendali yang memiliki kemiripan dengan *c-chart*. Perbedaannya dengan *c-chart* adalah peta kendali ini digunakan ketika ukuran sampel yang bervariasi dan tidak konstan. Rumus pertama adalah perhitungan jumlah ketidaksesuaian pada variasi ukuran sampel yaitu pada persamaan 2.39.

$$u_i = \frac{c_i}{n_i} \quad (2.39)$$

Keterangan:

ci: jumlah ketidaksesuaian ke i

ni: ukuran sampel ke i

Selanjutnya, perhitungan untuk *control limit* atau batas tengah pada *u-chart* menggunakan rumus 2.40 di bawah ini.

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^g c_i}{\sum_{i=1}^g n_i} \quad (2.40)$$

Sedangkan, untuk perhitungan batas atas dan batas bawah atau UCL dan LCL pada peta kendali u menggunakan persamaan 2.41 dan 2.42.

$$UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (2.41)$$

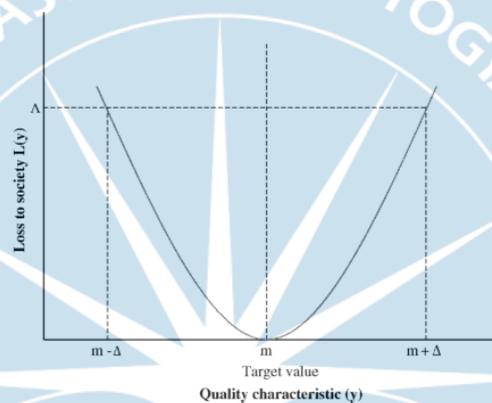
$$LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \quad (2.42)$$

Keterangan:

u= nilai unit

2.2.7. Taguchi

Taguchi adalah metode pengendalian kualitas yang dilakukan secara *offline* (Pandey dan Mishra, 2024). Metode ini dirancang oleh Genichi *Taguchi* seorang insinyur jepang dibidang rekayasa kualitas. Metode *offline Taguchi* efektif dalam meningkatkan kualitas dan minimasi biaya pada saat yang bersamaan (Lestari, 2023). Tujuan dari metode ini adalah menciptakan desain produk/proses yang tidak sensitif terhadap kombinasi faktor *noise* yang tidak terkendali untuk mengefektifkan waktu dan biaya. Konsumen menjadi tidak puas saat kualitas menyimpang dari target. Konsep tersebut merupakan fungsi kerugian kuadratik. Grafik kerugian kuadratik menurut *Taguchi* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Loss Function menurut Taguchi

(Mitra, 2016)

Dalam menjalankan metode *Taguchi*, terdapat 10 langkah yang dapat dilakukan (Maddulety, Modgil Patyal, 2012). Langkah pertama melakukan eksperimen *Taguchi* dimulai dengan mendeklarasikan permasalahan yang akan diselesaikan. Langkah kedua adalah menentukan tujuan penelitian. Langkah ketiga adalah menentukan metode pengukuran untuk mendapatkan parameter yang sesuai. Langkah keempat adalah memisahkan faktor kontrol dan faktor *noise*. Faktor kontrol adalah faktor yang sudah ditetapkan nilainya dan dapat dikontrol, sedangkan faktor *noise* adalah faktor yang tidak dapat dikendalikan. Langkah kelima adalah menentukan level dari faktor dan nilai faktor. Level dan nilai faktor ditentukan dari penelitian oleh peneliti untuk mengetahui level dan nilainya sesuai dengan kebutuhan penelitian. Langkah keenam adalah memilih dan membuat *orthogonal array*. Setiap *array* masing-masing mewakili level dan faktor levelnya. Pemilihan *orthogonal array* menggunakan persamaan 2.43 di bawah ini.

$$L_p(q^r) \quad (2.43)$$

Keterangan:

p: Jumlah percobaan yang dilakukan

q: Jumlah taraf tiap faktor

r: Jumlah faktor

Langkah keenam adalah melakukan percobaan dan mencatat nilai respon. Jumlah trial atau percobaan didasarkan pada desain yang dipilih. Langkah ketujuh adalah melakukan analisis hasil eksperimen anova yaitu melihat persen kontribusi, *signal to noise*, dan *pooling factor*. Rumus matematis untuk melakukan perhitungan *signal-to-noise ratio* didasarkan terhadap 3 kondisi yaitu *target is best*, *smaller is better*, dan *larger is better*.

a. *Target is best*

Target is best mengindikasikan bahwa kondisi karakteristik *output* tepat dengan sasaran dan memiliki variansi yang kecil. Pada kondisi target is best terdapat 2 ekspresi matematika yaitu variansi tidak berhubungan dan berhubungan rata-rata. Persamaan 2.44 digunakan untuk variasi yang tidak berhubungan pada rata-rata.

$$z = -\log(s^2) \quad (2.44)$$

Keterangan:

Z: performa statistik

s: variansi sampel

Selanjutnya, jenis ekspresi matematika yang kedua didasarkan pada kondisi variansi berhubungan pada rata-rata dengan menggunakan persamaan 2.45.

$$z = 10 \log \frac{\bar{y}^2}{s^2} \quad (2.45)$$

Keterangan:

y: sampel mean.

b. *Smaller is Better*

Smaller is better adalah karakteristik dengan tujuan target kualitas yang baik adalah mendekati ideal nol. Karakteristik ini menggunakan acuan semakin kecil nilai maka semakin baik. Persamaan 2.46 digunakan untuk *smaller is better*.

$$z = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \quad (2.46)$$

Keterangan:

n: jumlah data

c. *Larger is better*

Larger is better adalah karakteristik terakhir dalam *S/N ratio*. Kondisi ini mengindikasikan kebalikan dari *smaller is better*. Tujuan dari kondisi ini adalah untuk menentukan pengaturan optimal dari parameter dengan memaksimalkan performanya. Persamaan 2.47 digunakan dalam kasus *larger is better*.

$$z = -10 \log \frac{\sum_{i=1}^n 1/y_i^2}{n} \quad (2.47)$$

Selanjutnya, langkah kedelapan adalah memilih level faktor untuk kondisi respon optimal. Langkah kesembilan yaitu menjalankan percobaan konfirmasi untuk membuktikan efektivitas eksperimen. Langkah terakhir adalah menarik kesimpulan hasil eksperimen.

2.2.8. RSM

RSM adalah metode statistika pengendalian kualitas yang berfungsi untuk mengembangkan, meningkatkan, dan mengoptimalkan sebuah kinerja dari proses atau produk (Myers, 2016). Tujuan dari metode ini adalah untuk mengoptimalkan variabel respon guna mendapatkan hasil optimal dengan tepat, efektif, dan efisien (Montgomery, 2019). Respon yang dimaksud sendiri berorientasi terhadap beberapa variabel dan nilai target yang ditetapkan (Myers dkk, 2016). Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menemukan fungsi untuk mengetahui korelasi dari respon atau variabel y dan faktor x. Fungsi untuk *first order model* menggunakan persamaan 2.48.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.48)$$

Keterangan:

β_0 : konstanta

β_k : koefisien regresi

x_1 : peubah masukan

ε : galat.

Selanjutnya, pada RSM juga memiliki fungsi polinomial kedua atau *second order model*. Fungsi polinomial kedua biasanya lebih sering digunakan karena fungsi polinomial pertama memiliki ketidaksesuaian atau tidak linier. Fungsi untuk *second order model* menggunakan persamaan 2.49.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \dots + \sum_{i < j=2}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (2.49)$$

Keterangan:

y: Respons yang diperkirakan

β_i : koefisien linear

β_{ii} : kuadrat

β_{ij} : suku silang

Dalam metode RSM, terdapat dua jenis metode desain eksperimental yaitu *Central Composite Design* (CCD) dan *Box-Behnken Design* (BBD).

a. *Central Composite Design* (CCD)

Central composite design adalah metode yang digunakan untuk melakukan rancangan dengan terdiri dari rancangan faktorial ataupun fraksional dengan titik pusat. Tujuan dari jenis desain ini adalah untuk eksplorasi sebuah kondisi yang baru dan tidak pernah dilakukan sebelumnya. Pada desain ini ditambahkan dengan beberapa titik untuk melihat estimasi lengkungan. CCD memiliki rumus dalam mencari nilai *alpha*. Nilai ini bergantung terhadap jumlah percobaan yang dilakukan untuk faktorialnya. Persamaan 2.50 digunakan untuk mencari α dalam CCD.

$$\alpha = [\text{jumlah faktorial}]^{\frac{1}{4}} \quad (2.50)$$

Namun, terdapat kondisi lain jika faktorialnya penuh. Persamaan 2.51 dikhususkan untuk mencari α saat kondisi faktorialnya penuh.

$$\alpha = [2^k]^{\frac{1}{2}} \quad (2.51)$$

b. *Box-Behnken Design*

Box-Behnken Design adalah pola untuk optimasi secara efektif dengan seluruh titik luar permukaan memiliki jarak yang sama menuju titik pusat. Berbeda dengan CCD, jumlah pengulangan pada BBD lebih sedikit karena tidak menggunakan desain faktorial. Desain ini lebih efisien dan hemat jika dibandingkan secara umum dengan CCD. Hal tersebut dikarenakan desain BBD adalah untuk konfirmasi atau memastikan pada desain sebelumnya. Pada rumus, desain ini tidak memiliki perhitungan *alpha* atau α .