Seminar Nasional Teknik Industri [SNTI] 2026
Lhokseumawe-Aceh, 20-21 Oktober 2026
ISSN 2338-7122

ANALISIS MUTU KADAR AIR GULA DENGAN METODE SIX SIGMA DI PT XYZ

Nazira Safiyya[1], A. Amri[2]*
[1],[2]Program Studi Teknik Industri, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, Indonesia
[2]Email: iramri@unimal.ac.id

Abstrak

Kadar air merupakan parameter penting dalam menjaga kestabilan fisik, mutu, dan daya simpan gula. Penelitian ini bertujuan menganalisis kesesuaian kadar air gula terhadap standar maksimum 0,10%, mengidentifikasi faktor penyebab ketidaksesuaian beserta rekomendasi perbaikannya, dan menentukan tingkat sigma proses pada konteks PT XYZ. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Six Sigma* melalui tahapan DMAIC. Analisis dilakukan menggunakan 40 nilai simulasi yang disusun dalam 20 subgrup, masing-masing terdiri atas dua nilai, untuk merepresentasikan variasi kadar air pada konteks proses PT XYZ. Analisis meliputi peta kendali $\bar{X}$ dan R, penentuan *defect*, DPMO, tingkat sigma, dan diagram *fishbone*. Hasil menunjukkan 36 data atau 90% memenuhi standar, sedangkan 4 data atau 10% termasuk *defect*. Peta kendali awal menunjukkan pengamatan ke-2 pada peta $\bar{X}$ dan pengamatan ke-14 pada peta R melewati batas kendali. Nilai DPMO sebesar 100.000 dengan tingkat sigma 2,78. Setelah pemisahan bertahap terhadap variasi khusus, 16 subgrup yang tersisa berada dalam batas kendali. Ketidaksesuaian diduga dipengaruhi faktor manusia, mesin, metode, bahan baku, dan lingkungan. Nilai sigma tersebut menunjukkan bahwa kinerja proses berdasarkan data yang dianalisis masih memiliki peluang perbaikan dalam mengurangi ketidaksesuaian terhadap spesifikasi. Rekomendasi diarahkan pada konsistensi SOP, pelatihan operator, pemeliharaan mesin, kalibrasi alat ukur, pemeriksaan bahan baku, serta pengendalian suhu dan kelembapan ruang produksi.

Kata kunci: kadar air, pengendalian mutu, Six Sigma, DMAIC, peta kendali

1. Pendahuluan

Gula merupakan komoditas pangan yang digunakan secara luas oleh rumah tangga maupun industri. Karena menjadi bahan baku berbagai produk, mutu gula perlu dikendalikan agar karakteristik produk tetap sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan. Standar mutu berfungsi sebagai dasar penilaian yang objektif terhadap kesesuaian produk, sedangkan pengendalian proses diperlukan untuk menjaga hasil produksi tetap seragam dari waktu ke waktu [1]. Salah satu parameter yang perlu diperhatikan adalah kadar air karena berkaitan dengan kestabilan fisik dan daya simpan produk.

Kadar air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gula menjadi lengket, mudah menggumpal, serta mengalami penurunan stabilitas selama penyimpanan. Perubahan kadar air dapat dipengaruhi oleh proses pengeringan, suhu, kelembapan, karakteristik bahan, dan kondisi penyimpanan [2]. Pada gula kristal, interaksi dengan kelembapan udara juga dapat mendorong terjadinya *caking*, terutama ketika produk terpapar lingkungan yang lembap dalam waktu yang cukup lama [3, 4]. Oleh sebab itu, pemantauan kadar air perlu dilakukan tidak hanya pada hasil akhir, tetapi juga pada kondisi proses yang berpotensi menimbulkan variasi.

PT XYZ menetapkan batas maksimum kadar air sebesar 0,10%. Dalam penelitian ini digunakan 40 data simulasi yang mewakili 20 tanggal pengamatan pada periode 21 Januari–17 Februari 2026. Dari data simulasi tersebut, terdapat empat nilai yang melebihi batas spesifikasi, yaitu 0,16 pada 22 Januari, 0,11 pada 29 Januari, 0,16 pada 9 Februari, dan 0,12 pada 13 Februari 2026. Selain ketidaksesuaian terhadap spesifikasi, peta kendali awal juga menunjukkan titik di luar batas kendali. Pada peta $\bar{X}$, pengamatan ke-2 memiliki rata-rata 0,120 dan melebihi Batas Kendali Atas 0,11516. Pada peta R, pengamatan ke-14 memiliki rentang 0,120 dan melebihi Batas Kendali Atas 0,10454. Temuan pada data simulasi tersebut menunjukkan adanya variasi khusus yang perlu dianalisis lebih lanjut.

Metode Six Sigma digunakan karena mampu menghubungkan pengukuran tingkat ketidaksesuaian, analisis kestabilan proses, identifikasi penyebab, dan penyusunan usulan perbaikan. Penerapan Six Sigma pada proses produksi gula telah digunakan untuk mengurangi

ISSN 2338-7122

cacat dan meningkatkan konsistensi mutu melalui tahapan DMAIC [5, 6, 7]. Kerangka DMAIC juga memberikan urutan kerja yang sistematis mulai dari pendefinisian masalah sampai pengendalian hasil perbaikan [8, 9]. Peta kendali digunakan untuk membedakan variasi umum dan variasi khusus dalam proses [10, 11], sedangkan nilai DPMO dan tingkat sigma digunakan untuk menggambarkan kemampuan proses dalam menghasilkan keluaran yang sesuai spesifikasi [12, 13].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis mutu kadar air gula berdasarkan standar maksimum 0,10% dengan pendekatan metode Six Sigma, mengidentifikasi faktor-faktor yang diduga menyebabkan ketidaksesuaian kadar air beserta rekomendasi perbaikannya, serta menentukan nilai tingkat sigma berdasarkan data simulasi pada konteks pengendalian mutu kadar air gula di PT XYZ.

2. Landasan Teori

2.1 Mutu dan Kadar Air Gula

Mutu merupakan tingkat kesesuaian produk terhadap standar atau spesifikasi yang telah ditetapkan. Dalam proses produksi, mutu tidak hanya dinilai dari produk akhir, tetapi juga dari kemampuan proses menghasilkan keluaran yang seragam. Pengendalian mutu membantu perusahaan mendeteksi penyimpangan, mengurangi ketidaksesuaian, serta menentukan tindakan korektif berdasarkan data. Pada gula, parameter mutu mencakup kondisi fisik dan kimia yang dapat memengaruhi penerimaan konsumen maupun daya simpan produk [1, 2].

Kadar air menunjukkan jumlah air yang terdapat dalam produk. Nilai yang terlalu tinggi dapat memengaruhi tekstur, kestabilan, dan kecenderungan gula menyerap uap air dari lingkungan. Kelembapan relatif, suhu, waktu penyimpanan, dan kondisi kemasan dapat mempercepat penggumpalan. Karena itu, pengendalian kadar air harus mempertimbangkan proses pengeringan, pemeriksaan laboratorium, penyimpanan, serta pengendalian lingkungan produksi [3, 4]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa impuritas permukaan kristal dapat meningkatkan higroskopisitas dan pembentukan jembatan padat yang memperkuat caking pada sukrosa [14]. Variasi kelembapan relatif selama proses pengeringan juga memengaruhi *deliquescence* dan *efflorescence* yang menjadi mekanisme pembentukan gumpalan pada sukrosa [15].

2.2 Metode Six Sigma dan DMAIC

Six Sigma merupakan pendekatan peningkatan kualitas berbasis data yang berfokus pada pengurangan variasi dan ketidaksesuaian proses. Kinerja proses dinilai melalui jumlah *defect*, DPMO, dan tingkat sigma. Semakin kecil nilai DPMO dan semakin tinggi tingkat sigma, semakin baik kemampuan proses menghasilkan keluaran yang memenuhi spesifikasi. Dalam industri pangan, penerapan Six Sigma dapat membantu mengurangi biaya kualitas dan memperkuat konsistensi proses [12, 13].

Tahapan DMAIC terdiri atas *Define*, *Measure*, *Analyze*, *Improve*, dan *Control*. Tahap *Define* menetapkan masalah, objek, dan standar mutu. Tahap *Measure* mengukur kondisi awal melalui data proses, peta kendali, DPMO, serta tingkat sigma. Tahap *Analyze* digunakan untuk menelusuri faktor penyebab. Tahap *Improve* menyusun tindakan perbaikan, sedangkan tahap *Control* menjaga agar perbaikan dapat dipertahankan melalui pemantauan yang konsisten [8, 9].

2.3 Peta Kendali, DPMO, dan Tingkat Sigma

Peta kendali merupakan alat statistik untuk memantau kestabilan proses dari waktu ke waktu. Peta $\bar{X}$ digunakan untuk melihat kestabilan rata-rata subgrup, sedangkan peta R digunakan untuk menilai kestabilan rentang atau variasi di dalam subgrup. Proses dinyatakan terkendali secara statistik apabila titik-titik pengamatan berada di antara batas kendali dan tidak menunjukkan pola penyimpangan tertentu. Titik di luar batas kendali mengindikasikan adanya variasi khusus yang perlu ditelusuri [10, 11].

ISSN 2338-7122

DPMO atau *Defects per Million Opportunities* menunjukkan estimasi jumlah ketidaksesuaian dalam satu juta peluang. Nilai tersebut selanjutnya dikonversi menjadi tingkat sigma dengan mempertimbangkan pergeseran proses sebesar 1,5 sigma. Perhitungan DPMO tidak menggantikan analisis peta kendali karena kedua ukuran memiliki fungsi berbeda: DPMO menilai tingkat ketidaksesuaian terhadap spesifikasi, sedangkan peta kendali menilai kestabilan statistik proses.

2.4 Diagram *Fishbone* dan Usulan Perbaikan

Diagram *fishbone* digunakan untuk mengelompokkan faktor-faktor yang diduga menyebabkan suatu masalah. Dalam pengendalian kadar air, penyebab dapat dikelompokkan ke dalam faktor manusia, mesin, metode, bahan baku, dan lingkungan. Pengelompokan tersebut membantu penyusunan rekomendasi secara lebih terarah. Namun, faktor yang ditemukan melalui diagram *fishbone* tetap perlu diverifikasi melalui pemeriksaan lapangan, catatan proses, kondisi peralatan, dan hasil pengukuran.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Six Sigma* dan desain studi kasus berbasis simulasi. Konteks studi adalah PT XYZ yang bergerak dalam bidang produksi gula di Sumatera Utara. Kegiatan kerja praktik berlangsung pada 19 Januari–19 Februari 2026. Informasi proses selama kerja praktik digunakan sebagai konteks penyusunan analisis, sedangkan data numerik kadar air yang dianalisis merupakan data simulasi yang mewakili periode 21 Januari–17 Februari 2026.

Objek penelitian adalah analisis mutu kadar air gula dengan batas spesifikasi atas sebesar 0,10%. Data numerik terdiri atas 20 subgrup dengan dua nilai pada setiap tanggal, yaitu X1 dan X2, sehingga total terdapat 40 data simulasi. Data simulasi tersebut tidak diperlakukan sebagai data produksi aktual PT XYZ. Informasi pendukung diperoleh melalui observasi proses selama kerja praktik dan dokumentasi standar perusahaan, prosedur laboratorium, serta dokumen pengendalian mutu. Literatur ilmiah yang relevan digunakan sebagai data sekunder untuk memperkuat analisis.

Tahapan penelitian mengikuti DMAIC. Tahap *Define* menetapkan masalah kadar air dan batas spesifikasi. Tahap *Measure* menghitung rata-rata, rentang, peta kendali $\bar{X}$-R, jumlah *defect*, DPMO, dan tingkat sigma. Tahap *Analyze* menggunakan diagram *fishbone* untuk mengelompokkan penyebab. Tahap *Improve* menghasilkan usulan perbaikan, sedangkan tahap *Control* menyusun arah pemantauan proses setelah perbaikan diterapkan.

3.1 Teknik Analisis Data

Analisis dimulai dengan menghitung rata-rata dan rentang setiap subgrup. Karena setiap subgrup terdiri atas dua nilai, rata-rata subgrup dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan rentang dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\bar{X} = \frac{(X_1+X_2)}{2} \quad (1)$$

$$R = X_{maks} - X_{min} \quad (2)$$

Batas kendali pada peta kendali $\bar{X}$ dan R dihitung menggunakan nilai rata-rata keseluruhan ($\bar{\bar{X}}$), rentang rata-rata ($\bar{R}$), serta konstanta peta kendali berdasarkan ukuran subgrup. Karena setiap subgrup terdiri atas dua nilai (N = 2), konstanta yang digunakan adalah $A_2 = 1{,}880$, $D_3 = 0$, dan $D_4 = 3{,}267$. Perhitungan Batas Kendali Atas dan Batas Kendali Bawah pada peta kendali $\bar{X}$ dan R disajikan pada Persamaan (3) sampai dengan Persamaan (6).

$$BKA\ \bar{X} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \quad (3)$$

$$BKB\ \bar{X} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \quad (4)$$

$$BKA\ R = D_4\bar{R} \quad (5)$$

$$BKB\ R = D_3\bar{R} \quad (6)$$

Data dengan nilai kadar air lebih besar dari 0,10% dikategorikan sebagai *defect*. Nilai DPMO dihitung berdasarkan jumlah *defect*, jumlah unit, dan peluang cacat

ISSN 2338-7122

pada setiap unit sebagaimana Persamaan (7). Level sigma dihitung melalui fungsi invers distribusi normal standar sebagaimana Persamaan (8).

$$DPMO = Defect / (Unit \times Peluang\ Cacat) \times 1.000.000 \quad (7)$$

$$\sigma = NORM.S.INV(1 - DPMO / 1.000.000) + 1{,}5 \quad (8)$$

Revisi peta kendali dilakukan secara bertahap terhadap subgrup yang terindikasi mengalami variasi khusus sampai seluruh titik yang tersisa berada dalam batas kendali. Hasil revisi digunakan untuk melihat pola proses setelah variasi khusus dipisahkan, bukan untuk menyatakan bahwa usulan perbaikan telah diterapkan. Faktor penyebab ketidaksesuaian selanjutnya dianalisis menggunakan diagram fishbone dan dijadikan dasar penyusunan rekomendasi.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis dilakukan terhadap 40 data simulasi kadar air yang mewakili 20 tanggal pengamatan. Setiap tanggal memiliki dua nilai, yaitu X1 dan X2. Rekapitulasi data, nilai rata-rata subgrup, dan rentang disajikan pada Tabel 1. Data simulasi tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian terhadap batas maksimum 0,10% sekaligus menyusun peta kendali $\bar{X}$ dan R.

Tabel 1. Rekapitulasi Data Simulasi Kadar Air Gula

No.	Tanggal	X1	X2	$\bar{X}$	R
1	21/01/2026	0,06	0,05	0,055	0,01
2	22/01/2026	0,08	0,16	0,120	0,08
3	23/01/2026	0,04	0,05	0,045	0,01
4	26/01/2026	0,02	0,04	0,030	0,02
5	27/01/2026	0,04	0,06	0,050	0,02
6	28/01/2026	0,05	0,04	0,045	0,01
7	29/01/2026	0,11	0,04	0,075	0,07
8	30/01/2026	0,05	0,04	0,045	0,01
9	02/02/2026	0,04	0,06	0,050	0,02
10	03/02/2026	0,03	0,04	0,035	0,01
11	04/02/2026	0,04	0,08	0,060	0,04
12	05/02/2026	0,04	0,04	0,040	0,00
13	06/02/2026	0,02	0,05	0,035	0,03
14	09/02/2026	0,04	0,16	0,100	0,12
15	10/02/2026	0,06	0,04	0,050	0,02
16	11/02/2026	0,03	0,05	0,040	0,02
17	12/02/2026	0,04	0,02	0,030	0,02
18	13/02/2026	0,12	0,04	0,080	0,08
19	16/02/2026	0,08	0,04	0,060	0,04
20	17/02/2026	0,05	0,06	0,055	0,01

Sumber: Data simulasi untuk analisis

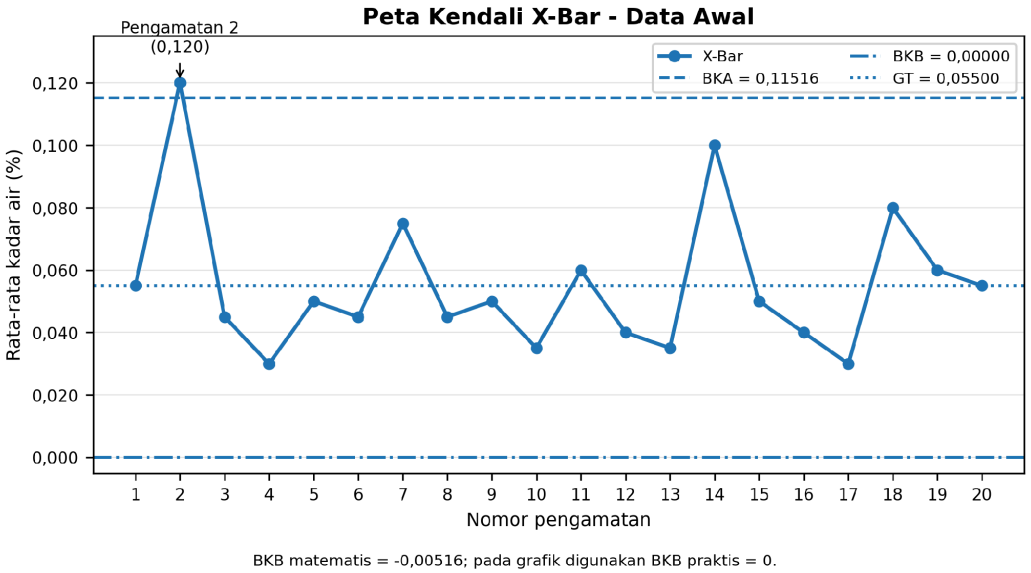
Berdasarkan Tabel 1, diperoleh jumlah rata-rata subgrup sebesar 1,10 dan jumlah rentang sebesar 0,64. Rata-rata keseluruhan kadar air adalah 0,055%, sedangkan rata-rata rentang sebesar 0,032. Nilai rata-rata keseluruhan masih berada di bawah batas maksimum perusahaan, tetapi rata-rata tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya dasar penilaian karena terdapat nilai individual yang melebihi spesifikasi dan terdapat variasi antarsubgrup.

Empat nilai kadar air simulasi termasuk *defect*, yaitu X2 tanggal 22 Januari sebesar 0,16%, X1 tanggal 29 Januari sebesar 0,11%, X2 tanggal 9 Februari sebesar 0,16%, dan X1

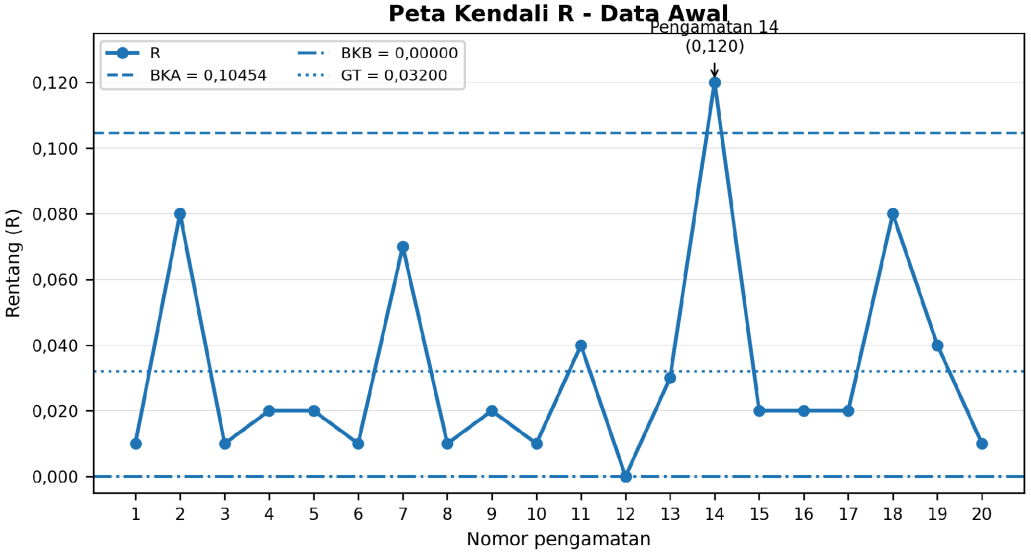
ISSN 2338-7122

tanggal 13 Februari sebesar 0,12%. Dengan demikian, terdapat 4 *defect* atau 10%, sedangkan 36 data atau 90% memenuhi standar. Nilai tertinggi sebesar 0,16% mencapai 1,6 kali batas maksimum sehingga perlu menjadi perhatian dalam analisis pengendalian proses.

Peta kendali digunakan untuk menilai apakah rata-rata dan variasi proses berada dalam kondisi stabil. Hasil peta kendali $\bar{X}$ dan R awal disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Peta Kendali X-Bar Data Awal
Sumber: Pengolahan Data Simulasi



Gambar 2. Peta Kendali R Data Awal
Sumber: Pengolahan Data Simulasi

Pada Gambar 1, garis tengah (GT) peta X-Bar sebesar 0,055, BKA sebesar 0,11516, dan BKB matematis sebesar -0,00516. Karena kadar air tidak mungkin bernilai negatif, pada grafik digunakan BKB praktis sebesar 0. Pengamatan ke-2 memiliki rata-rata 0,120 dan berada di atas BKA. Pada Gambar 2, GT peta R sebesar 0,032, BKA sebesar 0,10454, dan BKB sebesar 0. Pengamatan ke-14 memiliki rentang 0,120 dan berada di atas BKA. Dengan demikian, data awal belum sepenuhnya terkendali secara statistik karena terdapat variasi khusus pada pengamatan ke-2 dan ke-14.

ISSN 2338-7122

Titik di luar batas kendali memiliki makna yang berbeda dari data di luar spesifikasi. Data di luar spesifikasi menunjukkan ketidaksesuaian mutu terhadap batas 0,10%, sedangkan titik di luar batas kendali menunjukkan ketidakstabilan statistik proses. Oleh karena itu, proses dapat memiliki rata-rata yang berada di bawah spesifikasi tetapi tetap tidak stabil apabila terdapat perubahan rata-rata atau rentang yang disebabkan oleh variasi khusus [10, 11].

Perhitungan DPMO berdasarkan 4 *defect* dari 40 data simulasi dan satu peluang cacat menghasilkan nilai 100.000. Tingkat sigma dihitung melalui NORM.S.INV(0,90) + 1,5 = 1,2816 + 1,5 = 2,7816 atau dibulatkan menjadi 2,78 sigma. Hasil analisis data simulasi menunjukkan tingkat sigma sebesar 2,78, yang menunjukkan bahwa kinerja proses berdasarkan data yang dianalisis masih memiliki peluang perbaikan dalam mengurangi ketidaksesuaian terhadap spesifikasi. Secara praktis, nilai DPMO menggambarkan estimasi tingkat ketidaksesuaian pada data analisis, bukan jumlah produk cacat aktual sebanyak 100.000 unit.

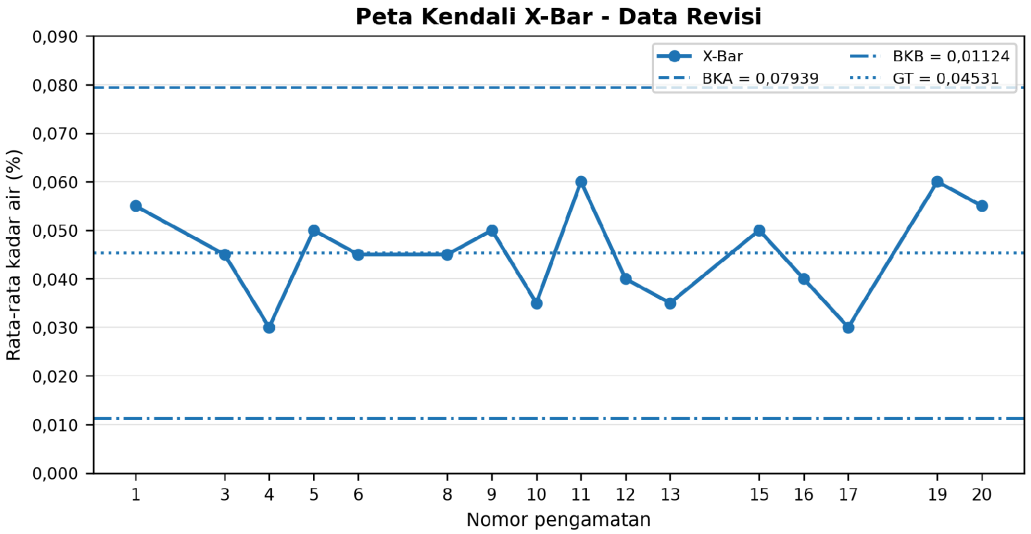
Tabel 2. Ringkasan Hasil Analisis Sebelum dan Setelah Revisi

Indikator	Data Awal	Data Revisi	Keterangan
Jumlah subgrup	20	16	Empat subgrup dipisahkan
Jumlah data	40	32	Dua nilai per subgrup
GT peta $\bar{X}$	0,055	0,04531	Rata-rata proses
BKA peta $\bar{X}$	0,11516	0,07939	Batas kendali atas
BKB peta $\bar{X}$	-0,00516 (praktis 0)	0,01124	Batas kendali bawah
GT peta R	0,032	0,01813	Rata-rata rentang
BKA peta R	0,10454	0,05921	Batas kendali atas
BKB peta R	0	0	Batas kendali bawah
Persentase defect	10%	0%	Data revisi tanpa defect
DPMO	100.000	0	Sigma utama 2,78

Sumber: Hasil Pengolahan Data

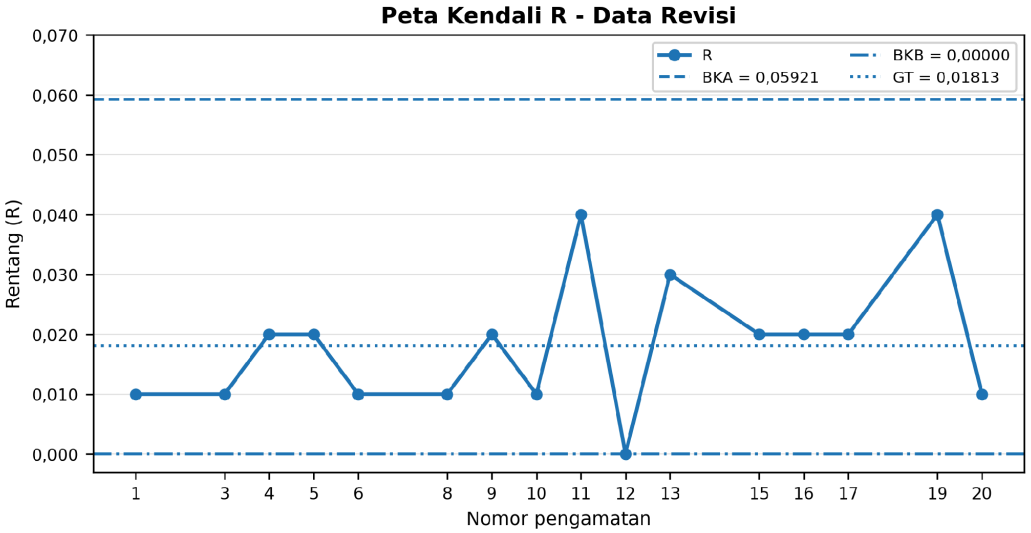
Revisi peta kendali dilakukan secara bertahap dengan memisahkan pengamatan ke-14, ke-2, ke-18, dan ke-7 yang terindikasi mengalami variasi khusus. Setelah revisi, tersisa 16 subgrup atau 32 data. Seluruh titik pada peta X-Bar revisi berada di antara BKB 0,01124 dan BKA 0,07939, sedangkan seluruh titik pada peta R revisi berada di antara BKB 0 dan BKA 0,05921. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rata-rata dan variasi pada 16 subgrup yang tersisa berada dalam kondisi terkendali secara statistik. Subgrup yang dipisahkan tetap merupakan bagian dari data awal dan harus ditelusuri sebagai variasi khusus. Pada Gambar 3 dan Gambar 4, nomor pada sumbu x tetap mengikuti nomor pengamatan awal agar subgrup yang dipisahkan dapat ditelusuri dengan jelas.

ISSN 2338-7122



Gambar 3. Peta Kendali X-Bar Revisi
Sumber: Pengolahan Data Simulasi

Berdasarkan Gambar 3, seluruh nilai rata-rata kadar air pada 16 subgrup yang tersisa berada di antara BKA sebesar 0,07939 dan BKB sebesar 0,01124, dengan GT sebesar 0,04531. Nomor pengamatan pada grafik tetap menggunakan nomor awal. Dengan demikian, rata-rata pada data revisi berada dalam kondisi terkendali secara statistik.



Gambar 4. Peta Kendali R Revisi
Sumber: Pengolahan Data Simulasi

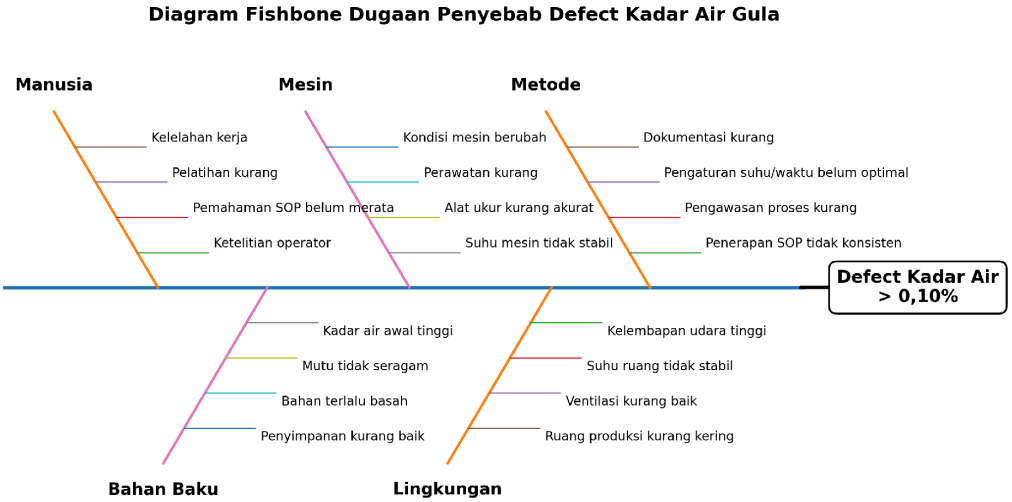
Berdasarkan Gambar 4, seluruh nilai *range* pada 16 subgrup yang tersisa berada di antara BKA sebesar 0,05921 dan BKB sebesar 0, dengan GT sebesar 0,01813. Nomor pengamatan pada grafik tetap menggunakan nomor awal. Dengan demikian, variasi pada data revisi berada dalam kondisi terkendali secara statistik.

Pada data revisi tidak terdapat nilai yang melebihi batas 0,10%, sehingga persentase *defect* sebesar 0%, persentase kesesuaian sebesar 100%, dan DPMO sebesar 0. Hasil ini tidak boleh dipahami sebagai bukti bahwa proses telah mengalami perbaikan, karena revisi dilakukan dengan memisahkan data yang mengalami variasi khusus, bukan melalui penerapan tindakan perbaikan dan pengumpulan data baru. Tingkat sigma utama yang dilaporkan tetap 2,78 berdasarkan keseluruhan 40 data simulasi awal. Evaluasi tingkat sigma setelah penerapan

ISSN 2338-7122

perbaikan harus dilakukan menggunakan data baru yang dikumpulkan setelah rekomendasi diterapkan.

Untuk mengidentifikasi faktor yang diduga menyebabkan ketidaksesuaian kadar air, dilakukan analisis menggunakan diagram sebab-akibat sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Fishbone Dugaan Penyebab Defect Kadar Air Gula

Hasil diagram *fishbone* mengelompokkan penyebab ke dalam lima faktor. Faktor manusia berkaitan dengan kurangnya ketelitian, pemahaman SOP yang belum merata, keterbatasan pelatihan, dan kelelahan operator. Faktor mesin mencakup suhu mesin yang tidak stabil, perawatan yang belum optimal, kondisi mesin yang berubah, dan alat ukur yang kurang akurat. Faktor metode berkaitan dengan penerapan SOP, pengawasan, pengaturan suhu dan waktu, serta dokumentasi hasil pemeriksaan. Faktor bahan baku meliputi kadar air awal yang tinggi, kondisi bahan terlalu basah, mutu yang tidak seragam, dan penyimpanan yang kurang baik. Faktor lingkungan mencakup kelembapan tinggi, suhu ruang tidak stabil, ventilasi kurang baik, serta ruang produksi yang kurang kering.

Kelima faktor tersebut dapat saling berinteraksi. Sebagai contoh, perubahan kondisi bahan baku membutuhkan penyesuaian suhu dan waktu proses; ketidakakuratan alat ukur dapat menghambat deteksi penyimpangan; dan kelembapan lingkungan dapat meningkatkan kembali kadar air setelah proses pengeringan. Oleh karena itu, faktor pada diagram *fishbone* harus diperlakukan sebagai dugaan penyebab yang memerlukan verifikasi lebih lanjut, bukan sebagai hubungan kausal yang telah terbukti.

Tabel 3. Usulan Perbaikan Berdasarkan Faktor Penyebab

Faktor	Permasalahan	Usulan Perbaikan
Manusia	Ketelitian, pemahaman SOP, pelatihan, dan kelelahan	Pelatihan berkala, sosialisasi SOP, daftar periksa, dan pengaturan waktu kerja-istirahat.
Mesin	Suhu tidak stabil, perawatan kurang, dan alat ukur kurang akurat	Pemeriksaan praoperasi, pemantauan suhu, pemeliharaan preventif, dan kalibrasi alat ukur.
Metode	SOP tidak konsisten, pengawasan dan dokumentasi belum optimal	Standardisasi pengambilan sampel, pengendalian suhu-waktu, pengawasan, dan pencatatan rutin.
Bahan baku	Kadar air awal tinggi, mutu tidak seragam, dan penyimpanan kurang baik	Pemeriksaan kadar air awal, pemilahan bahan, dan penyimpanan pada tempat kering serta tertutup.

ISSN 2338-7122

Faktor	Permasalahan	Usulan Perbaikan
Lingkungan	Kelembapan tinggi, suhu ruang tidak stabil, dan ventilasi kurang baik	Pemantauan suhu-kelembapan, perbaikan ventilasi, dan pembatasan paparan gula terhadap udara terbuka.

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Usulan perbaikan diarahkan pada pengurangan sumber variasi dan peningkatan konsistensi proses. Tindakan awal yang dapat diprioritaskan adalah kalibrasi alat ukur, pemeriksaan kondisi mesin sebelum produksi, penerapan SOP pengambilan sampel dan pencatatan, serta pemantauan suhu dan kelembapan. Tahap *Control* perlu menggunakan lembar pemantauan yang konsisten agar perubahan setelah perbaikan dapat dibandingkan dengan kondisi awal. Pendekatan tersebut sejalan dengan prinsip DMAIC yang menempatkan pengendalian sebagai tahap untuk mempertahankan hasil perbaikan [8, 9, 12].

5. Kesimpulan

Berdasarkan 40 data simulasi yang dianalisis, sebanyak 36 data atau 90% memenuhi standar maksimum kadar air 0,10%, sedangkan 4 data atau 10% termasuk *defect*. Peta kendali awal menunjukkan pengamatan ke-2 pada peta X-Bar dan pengamatan ke-14 pada peta R berada di luar Batas Kendali Atas, sehingga data awal belum sepenuhnya terkendali secara statistik. Setelah pemisahan bertahap terhadap pengamatan yang terindikasi sebagai variasi khusus, 16 subgrup yang tersisa berada dalam batas kendali. Ketidaksesuaian kadar air diduga dipengaruhi oleh faktor manusia, mesin, metode, bahan baku, dan lingkungan. Rekomendasi perbaikan mencakup peningkatan ketelitian dan pelatihan operator, penerapan SOP secara konsisten, pemeliharaan mesin, kalibrasi alat ukur, pemeriksaan bahan baku, serta pengendalian suhu dan kelembapan. Hasil analisis data simulasi menghasilkan tingkat sigma sebesar 2,78 dengan DPMO sebesar 100.000. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kinerja proses berdasarkan data yang dianalisis masih memiliki peluang perbaikan dalam mengurangi ketidaksesuaian terhadap spesifikasi. Evaluasi lanjutan perlu dilakukan menggunakan data baru setelah rekomendasi perbaikan diterapkan.

Daftar Pustaka

[1] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 3140-3:2020 Gula Kristal - Bagian 3: Putih," BSN, Jakarta, 2020.

[2] N. Wilberta, N. T. Sonya and S. H. R. Lydia, "Analisis Kandungan Gula Reduksi pada Gula Semut dari Nira Aren yang Dipengaruhi pH dan Kadar Air," *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi),* vol. 12, no. 1, 2021.

[3] M. L. Hernández-Reyes, J. V. Hidalgo-Contreras, A. S. Hernández-Cázares and J. Pascual-Ramírez, "Factors Influencing Caking of Cane Sugar," *Agro Productividad,* vol. 15, no. 4, 2022.

[4] E. Chávez Montes, N. Ardila Santamaría, J. C. Gumy and P. Marchal, "Moisture-Induced Caking of Beverage Powders," *Journal of the Science of Food and Agriculture,* vol. 91, pp. 2582-2586, 2011.

[5] P. S. K. Hanifah and I. Iftadi, "Penerapan Metode Six Sigma dan Failure Mode Effect Analysis untuk Perbaikan Pengendalian Kualitas Produksi Gula," *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya,* vol. 8, no. 2, pp. 90-98, 2022.

[6] D. S. Ramadhani and B. D. Ifalda, "Analisis Pengendalian Kualitas Produksi Gula dengan Pendekatan Six Sigma pada PT. Sinergi Gula Nusantara," *JUMANTARA Jurnal Manajemen dan Teknologi Rekayasa,* vol. 4, no. 1, pp. 17-26, 2025.

[7] B. T. Mardiansyah, A. Z. Muttaqin and D. Susanto, "Analisis Six Sigma untuk Mengurangi Cacat Produk dan Peningkatan Kualitas di Pabrik Gula XYZ," *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi,* vol. 8, no. 3, pp. 3387-3396, 2025.

ISSN 2338-7122

[8] International Organization for Standardization, "ISO 13053-1:2011, Quantitative Methods in Process Improvement - Six Sigma - Part 1: DMAIC Methodology," ISO, Geneva, 2011.

[9] International Organization for Standardization, "ISO 13053-2:2011, Quantitative Methods in Process Improvement - Six Sigma - Part 2: Tools and Techniques," ISO, Geneva, 2011.

[10] International Organization for Standardization, "ISO 7870-2:2023, Control Charts - Part 2: Shewhart Control Charts," ISO, Geneva, 2023.

[11] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, 8 ed., Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2020.

[12] T. Pyzdek and P. A. Keller, The Six Sigma Handbook, 5 ed., New York: McGraw-Hill Education, 2018.

[13] H.-C. Hung and M.-H. Sung, "Applying Six Sigma to Manufacturing Processes in the Food Industry to Reduce Quality Cost," *Scientific Research and Essays,* vol. 6, no. 3, pp. 580-591, 2011.

[14] A. Farshchi, M. Guo, J. Gardy, X. Zhang, A. Hassanpour and M. Naderi, "The Effect of Surface Chemistry on the Caking Behaviour of Sucrose Crystals," *Journal of Food Engineering,* vol. 389, p. 112386, 2025.

[15] S. Samain, M. Dupas-Langlet, M. Leturia, M. Benali and K. Saleh, "Caking of Sucrose: Elucidation of the Drying Kinetics According to the Relative Humidity by Considering External and Internal Mass Transfer," *Journal of Food Engineering,* vol. 212, pp. 298-308, 2017.