

Pengendalian Kualitas Pupuk Npk di PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) Palembang Menggunakan Peta Kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max-MCUSUM)*

Siti Aisyah dan Muhammad Mashuri
Departemen Statistika, Fakultas Matematika Komputasi dan Sains Data,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail:

Abstrak—Pupuk NPK merupakan produk pupuk yang baru diproduksi oleh PT Pupuk Sriwidjaja yang sangat mengutamakan kualitas agar pupuk NPK PT PUSRI dapat bersaing, sehingga tidak terjadi kerugian secara finansial bagi produsen dan secara penggunaan bagi konsumen. Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengendalian kualitas secara statistik pada pupuk NPK melalui peta kendali. Penelitian akan dilakukan pada 3 variabel utama dan terpenting dalam komposisi pupuk NPK, yaitu nitrogen (N), fosfat (P) dan kalium (K), dimana variabel penelitian memiliki hubungan satu sama lain dan memiliki pergeseran proses yang kecil yaitu sebesar $0,92\sigma$, $0,11\sigma$ dan $0,18\sigma$. Maka digunakan peta kendali Max-MCUSUM yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil, serta efektif karena memonitor rata-rata dan variabilitas secara simultan dalam satu peta kendali. Setelah dilakukan simulasi, didapatkan batas interval (h) sebesar 29.89. Hasil dari penelitian menggunakan peta kendali Max-MCUSUM pada proses produksi pupuk NPK fase I adalah telah terkendali secara statistik setelah dilakukan identifikasi terhadap penyebab titik yang keluar batas interval dan dilakukan perbaikan. Sedangkan pada fase II, proses produksi pupuk NPK belum terkendali secara statistik Hal ini dikarenakan masih terdapat titik pengamatan yang berada di atas batas interval (h) yang disimbolkan dengan C_+ . Kemudian, pada perhitungan kapabilitas proses, dapat diketahui bahwa secara multivariat, nilai indeks kapabilitas kinerja proses baik MPp maupun MPpk kurang dari 1. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses produksi pupuk NPK pada PT PUSRI belum kapabel karena memiliki tingkat presisi dan akurasi yang rendah.

Kata Kunci—Analisis Kapabilitas, Pengendalian Kualitas Statistika, Peta Kendali Max-MCUSUM, Pupuk NPK, PT Pupuk Sriwidjaja Palembang.

I. PENDAHULUAN

PUPUK NPK merupakan produk pupuk yang baru diproduksi oleh PT Pupuk Sriwidjaja sejak tahun 2016. Pupuk Indonesia menargetkan produksi NPK menjadi prioritas di industri pupuk dikarenakan dapat lebih bermanfaat untuk peningkatan ketahanan pangan, karena didalam komposisinya yang dinilai lebih lengkap dibandingkan pupuk lainnya. PT PUSRI menyatakan bahwa pihak perusahaan sedang berkonsentrasi untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas dari produk barunya ini yaitu pupuk NPK [1]. Kualitas pupuk NPK yang diproduksi sangat diutamakan agar pupuk NPK PT PUSRI dapat bersaing dengan produk pupuk NPK lainnya,

sehingga tidak terjadi kerugian secara finansial bagi produsen dan secara penggunaan bagi konsumen. Pengendalian kualitas statistik merupakan alat statistika yang mampu mengontrol dan memonitor suatu produk atau proses produksi, salah satunya dengan menggunakan peta kendali. Dalam penelitian ini, akan dilakukan pengendalian kualitas secara statistik pada pupuk NPK melalui peta kendali. Dari 7 variabel pengukuran yang diuji secara rutin, akan digunakan 3 variabel yang merupakan variabel utama dan terpenting dalam komposisi pupuk NPK, yaitu Nitrogen (N) Fosfat (P) dan Kalium (K). Dalam prosesnya, antar variabel penelitian memiliki hubungan satu sama lain. Maka dari itu digunakan peta kendali multivariat yaitu peta kendali yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses secara multivariat. Karena berdasarkan data perusahaan menunjukkan adanya pergeseran proses yang kecil yaitu sebesar $0,92\sigma$, $0,11\sigma$ dan $0,18\sigma$ maka digunakan peta kendali Max-MCUSUM yang lebih sensitif dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil dan efektif karena memonitor rata-rata dan variabilitas secara simultan dalam satu peta kendali. Penggunaan peta kendali ini dapat mendeteksi pergeseran proses yang disebabkan oleh penyebab-penyebab khusus sedini mungkin, sehingga dapat segera dilakukan tindakan perbaikan. Sehingga nantinya diharapkan dapat membuat proses produksi pupuk NPK stabil dan menghasilkan produk yang berkualitas serta sesuai spesifikasi. Penelitian akan dilanjutkan dengan analisis kapabilitas proses yang bertujuan untuk mengukur kemampuan proses pupuk NPK dalam menghasilkan produk yang memenuhi spesifikasi yg telah ditetapkan Hasil dari analisis kapabilitas ini juga bertujuan untuk mencegah dihasilkan produk cacat atau produk yang keluar spesifikasi yang lebih banyak kedepannya. Hal ini dilakukan dengan mengurangi variabilitas dalam proses yang dinyatakan dengan indeks kapabilitas proses. Hasil dari penelitian diharapkan dapat menjadi *early warning system* untuk PT PUSRI dalam memonitor dan meningkatkan kualitas pupuk NPK kedepannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Uji Korelasi

Metode *bartlett test* akan digunakan untuk menguji korelasi antar karakteristik kualitas ini. Hipotesis dan statistik uji dari pengujian korelasi yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0 : \rho = I$ (Matriks korelasi sama dengan matriks identitas atau tidak ada korelasi antar karakteristik kualitas)
 $H_1 : \rho \neq I$ (Matriks korelasi tidak sama dengan matriks identitas atau terdapat korelasi antar karakteristik kualitas)
 Statistik uji:

$$\chi^2 = -\left(m-1 - \frac{2p+5}{6}\right) \ln |R| \tag{1}$$

keterangan :

- m : jumlah observasi ($i=1,2,\dots,m$)
- p : jumlah karakteristik kualitas ($j=1,2,\dots,p$)
- R : matrik korelasi dari masing-masing karakteristik kualitas

Dari hipotesis dan statistik uji diatas, dapat diketahui bahwa tidak terdapat korelasi antar karakteristik kualitas apabila nilai $\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$, atau p -value yaitu

$P(\chi^2 \geq \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))})$ dimana $\chi^2 \sim \chi^2_{(\alpha, \frac{1}{2}p(p-1))}$ kurang dari α . [2].

B. Uji Distribusi Normal Multivariat

Uji distribusi normal multivariat dilakukan untuk mengetahui data hasil pengamatan mengikuti distribusi normal multivariat. Suatu pengamatan x_1, x_2, \dots, x_p mempunyai distribusi normal multivariat dengan parameter μ dan Σ jika memiliki fungsi densitas sebagai berikut.

$$f(X) = \frac{1}{(2\pi)^{p/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}(X-\mu)' \Sigma^{-1}(X-\mu)} \tag{2}$$

Uji distribusi normal multivariat dilakukan dengan pengujian *Henzi Zinkler* yaitu sebagai berikut.

Hipotesis :

- $H_0 : x_1, x_2, \dots, x_p$ berdistribusi normal multivariat
 - $H_1 : x_1, x_2, \dots, x_p$ tidak berdistribusi normal multivariat
- Statistik uji :

$$HZ = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n e^{-\frac{\beta^2 D_{ij}}{2}} - 2(1+\beta^2)^{\frac{p}{2}} \sum_{i=1}^n e^{-\frac{\beta^2}{2(1+\beta^2)} D_i} + n(1+2\beta^2)^{\frac{p}{2}} \tag{3}$$

Dimana:

p : jumlah variabel

$$\bar{D} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{n(2p+1)}{4} \right)^{\frac{1}{p+4}}$$

$$\bar{D}_{ij} = (x_i \ x_j) S^{-1} (x_i \ x_j)$$

$$\bar{D}_i = (x_i \ \bar{x}) S^{-1} (x_i \ \bar{x}) = m_{ij}$$

Jika pada tingkat signifikansi α , P -value $> \alpha$ maka sampel dapat dikatakan berasal dari populasi yang berdistribusi normal multivariat [3].

C. Peta Kendali

Peta kendali yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta kendali *Maximum Multivariate Cumulative Sum* (Max-MCUSUM). Peta kendali Max-MCUSUM adalah peta kendali yang dapat digunakan untuk mendeteksi pergeseran proses baik pada rata-rata maupun variabilitas proses dalam satu peta kendali. Peta kendali ini memiliki keunggulan dalam mendeteksi pergeseran proses yang kecil. Peta kendali Max-MCUSUM hanya menggunakan batas kontrol atas atau *upper*

control limit (UCL) dalam memonitor proses secara multivariat. Peta kendali ini disebut sebagai Max-MCUSUM karena dikembangkan dengan menggunakan nilai maksimal dari jumlah nilai kumulatif yang dihitung [4].

D. Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max-MCUSUM) Untuk Rata-Rata

Prosedur CUSUM menandakan bahwa pergeseran rata-rata vektor terjadi segera setelah:

$$S_i = \max_{\bar{0}} \left(0, S_{i-1} + \log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} \right) \tag{4}$$

Dimana f_G dan f_B adalah densitas yang sesuai dengan F_G dan F_B , masing-masing dan L adalah konstanta yang menentukan karakteristik operasi prosedur CUSUM [5].

Seperti yang akan ditunjukkan, dilakukan rescaling pada persamaan (4) dengan membagi dan L oleh nilai konstan yang sama seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (6). Nilai awal peta kendali CUSUM yang ditentukan adalah $S_0 = 0$. Setelah pendeteksian pergeseran dan tindakan perbaikan dilakukan, statistik CUSUM di-reset ke nilai awal S_0 . Untuk yang berdistribusi normal multivariat, peta kendali CUSUM dikembangkan melalui persamaan rasio *likelihood*, sehingga didapatkan,

$$\log \frac{f_B(x_i)}{f_G(x_i)} = (\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} X_i - 0.5(\mu_B + \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G) \tag{5}$$

Peta kendali CUSUM untuk proses multivariat dihitung dengan mensubstitusi persamaan (5) menjadi persamaan (4). Menghilangkan persamaan baru dengan membagi kedua sisi dengan konstanta, diberikan prosedur CUSUM untuk proses multivariat sebagai berikut.

$$S_i = \max(S_{i-1} + a'X_i - k, 0) > h \tag{6}$$

dimana

$$a' = \frac{(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1}}{[(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)]^{1/2}}$$

dan

$$k = 0.5 \frac{(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)}{[(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)]^{1/2}}$$

Sekarang, variabel random $a'X_i$ memiliki distribusi normal univariat. Parameter *noncentrality* ditentukan sebagai.

$$D = \sqrt{(\mu_B - \mu_G)' \Sigma^{-1} (\mu_B - \mu_G)} \tag{7}$$

dan

$$Z_i = a'(X_i - \mu_G) \tag{8}$$

Peta kendali CUSUM untuk mendeteksi pergeseran pada vektor *mean* proses normal multivariat dapat ditulis sebagai berikut.

$$C_i = \max(0, C_{i-1} + Z_i - 0.5D) > h \tag{9}$$

Fungsi Z_i memiliki distribusi normal univariat ketika X_i memiliki rata-rata sama dengan μ_G . Jika rata-rata bergeser ke μ_B maka $(a'X_i - \mu_G)$ memiliki distribusi normal univariat dengan rata-rata D dan variansi 1 [5]

E. Maximum Multivariate Cumulative Sum (Max-MCUSUM) Untuk Variansi

Seperti rata-rata proses, variansi proses biasanya dirangkul oleh suatu matriks kovarians pada kasus

multivariat. Hal ini penting untuk menilai apakah proses terkendali atau tidak. Prosedur dibawah ini menunjukkan peta kendali yang menunjukkan perubahan pada variabilitas proses dengan mengamsusikan bahwa rata-rata proses tetap konstan selama proses produksi berlangsung. Rasio *likelihood* yang didapatkan

$$\log \frac{f_b(x_i)}{f_c(x_i)} = -\frac{1}{2} \log b + 0.5(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}) (1 - \frac{1}{b}) \quad (10)$$

Peta kendali CUSUM untuk mendeteksi suatu pergeseran pada variabilitas dari suatu proses yang normal multivariat dapat ditulis sebagai berikut.

$$S_i = \max(S_{i-1} + (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}) - v, 0) > h \quad (11)$$

dimana

$$v = \log(b) \left(\frac{b}{b-1} \right) \quad (12)$$

Untuk mengembangkan suatu peta kendali CUSUM multivariat yang dapat memonitor vektor *mean* dan dan matriks kovarians, dibuat transformasi sebagai berikut.

$$Y_i = \Phi^{-1} \left\{ H[(\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu})' \Sigma^{-1} (\mathbf{X}_i - \boldsymbol{\mu}); p] \right\} \quad (13)$$

Dimana $\Phi(z) = P(Z \leq z)$ untuk $Z \sim N(0,1)$, berdistribusi normal standar. Fungsi $\Phi^{-1}(\cdot)$ adalah invers dari fungsi ditribusi kumulatif normal standar dan $H(w;p) = P(W \leq w | p)$ untuk $W \sim \chi_p^2$, distribusi *chi-square* dengan derajat bebas p . Fungsi Z_i dan Y_i pada persamaan (8) dan (13) adalah independen dan ketika rata-rata proses dan variabilitas proses terkendali maka $\delta = 0$ dan $b = 1$, keduanya mengikuti distribusi normal standar univariat dan distribusi tersebut tidak tergantung pada ukuran sampel. Karena Z_i dan Y_i memiliki distribusi yang sama, dapat dibuat suatu peta kendali CUSUM yang dapat memonitor secara simultan baik rata-rata proses maupun variabilitas proses dan variabilitas proses menggunakan satu peta kendali. Statistik CUSUM berdasarkan independensi dan distribusi normal variabel Z_i dan Y_i , diberikan sebagai berikut.

$$C_i^+ = \max(0, Z_i - 0.5D + C_{i-1}^+) \quad (14)$$

$$C_i^- = \max(0, -0.5D - Z_i + C_{i-1}^-)$$

Untuk memonitor rata-rata proses

$$S_i^+ = \max(0, Y_i - k + S_{i-1}^+) \quad (15)$$

$$S_i^- = \max(0, -k - Y_i + S_{i-1}^-)$$

Untuk memonitor variabilitas proses, dengan C_0 dan S_0 sebagai titik awal. Karena pada prosedur pengendalian kualitas multivariat dilakukan monitoring pada besarnya pergeseran bukan arahnya, statistik CUSUM diatas akan ditransformasi ke statistik berikut ini.

$$C_i = \max(C_i^+, C_i^-)$$

$$S_i = \max(S_i^+, S_i^-)$$

Karena Z_i dan Y_i mengikuti distribusi yang sama, statistik untuk peta kendali multivariat dapat dikembangkan dengan menjadi sebagai berikut:

$$M_i = \max(C_i, S_i) \quad (16)$$

Karena digunakan maksimum CUSUM untuk mengembangkan peta kendali, maka disebut peta kendali *Maximum Multivariate Cumulative SUM* (Max-MCUSUM). Statistik M_i akan besar ketika vektor *mean* proses jauh dari nilai $\boldsymbol{\mu}_G$ atau ketika variabilitas proses jauh dari nilai $\boldsymbol{\Sigma}$. Nilai

M_i yang kecil menunjukkan bahwa proses berada dalam keadaan terkendali secara statistik. Karena $M_i \geq 0$ maka hanya digunakan batas kontrol atas atau *upper control limit* [5]

F. Kapabilitas Proses

Analisis kapabilitas proses merupakan analisis yang dilakukan untuk mengukur kemampuan proses pada suatu produk dalam memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Proses dikatakan kapabel apabila dalam keadaan terkendali, memenuhi batas spesifikasi, serta tingkat presisi dan akurasi tinggi. Perhitungan indeks P_p dan P_{pk} untuk data multivariat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$MP_{pk} = \sum_{k=1}^p W_k P_{pk}(X_k) \quad (17)$$

$$MP_p = \sum_{k=1}^p W_k P_p(X_k) \quad (18)$$

MP_p dan MP_{pk} berturut-turut merupakan bentuk P_p dan P_{pk} dalam keadaan multivariat dengan W_i merupakan pembobot berdasarkan kepentingan dengan $\sum_{k=1}^p W_k = 1$. Nilai pembobot W_i disesuaikan dengan pembobot dari masing-masing karakteristik kualitas yang ditentukan oleh perusahaan, jika tidak ada maka pembobot dianggap sama [6].

G. Proses Produksi Pupuk NPK

Pupuk NPK merupakan salah satu jenis pupuk majemuk yang kandungan unsur utamanya terdiri dari 3 unsur hara sekaligus. Pupuk NPK di PT PUSRI dibuat dengan cara *fashion blend/ steam granulation*. Bahan baku yang digunakan dalam proses berupa Diamonium Fosfat (DAP), Urea, *Rock Phosphate*, KCL, *Clay*, yang kemudian dicampur menjadi satu dan dibentuk menjadi butiran di dalam Granulator. Proses produksi di pabrik pupuk NPK terbagi menjadi 6 unit, yaitu:

1. *Feeding unit*: Mencampurkan bahan baku seperti DAP, urea, rock phosphate, KCL dan *clay*
2. *Granulation unit*: Menempelkan bahan baku dengan menambahkan *steam* dan air yang akan membantu pembentukan granul dengan prinsip aglomerasi
3. *Drying Unit*: Mengeringkan pupuk NPK didalam sebuah dryer dengan bantuan udara panas *counter current* yang dihasilkan dari sebuah *Furnance*
4. *Cooling Unit*: Pendinginan pupuk NPK dengan mengalirkan udara suhu kamar ke dalam *cooler*
5. *Finishing Unit*: Produk diambil untuk diuji lab. Data berukuran individu 1, yaitu 4 jam satu kali setiap harinya sesuai dengan pengambilan sampel pengukuran kualitas pupuk Prosedur sampling dilakukan dengan mengambil sampel pupuk NPK setiap 1 menit sekali selama 1 jam, hingga terkumpul 1 Kilogram (Kg) pupuk NPK. Kemudian produk NPK yang tidak sesuai spesifikasi dipisahkan. Produk yang sesuai spesifikasi akan dilapisi dengan *coating oil water based* dan juga perwarna dan dilanjutkan dengan pengantongan
6. *Scrubbing Unit*: Menghilangkan debu yang ada didalam *dryer, cooler* dan juga granolator dengan dialirkan ke *scrubber tower*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Sumber data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Departemen Operasi dan Pengantongan, tepatnya pada Laboratorium Pupuk NPK PT Pupuk Sriwidjaja (PUSRI) yang diambil pada tanggal 9 Januari 2018 hingga 22 Januari 2018. Data yang digunakan adalah data pada Laporan Harian Hasil Uji Lab Parameter Kualitas Pupuk NPK. Dalam penelitian ini periode data yang digunakan adalah produksi pupuk NPK pada tanggal 23 November 2017 hingga 27 Desember 2017. Namun, penggunaan data dibagi menjadi dua fase, data produksi pupuk NPK sebelum terjadi *shutdown* pada mesin yaitu pada tanggal 23 November 2017 hingga 6 Desember 2017 digunakan sebagai data untuk fase 1. Sedangkan data setelah dilakukan *maintenance* yaitu 11 Desember 2017 hingga 27 Desember 2017 digunakan sebagai data untuk fase 2.

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini merupakan ketiga variabel utama dalam memenuhi syarat mutu dari pupuk NPK di PT PUSRI, yaitu nitrogen, fospat dan kalium. Ketiga variabel tersebut merupakan variabel utama dan terpenting dalam komposisi pupuk NPK, dengan proporsi 15% pada masing-masing variabel. Sesuai dengan merk dagang pupuk NPK PT PUSRI, yaitu pupuk NPK 15-15-15. Setiap variabel memiliki satuan dan batas spesifikasi yang telah ditetapkan dengan rincian sebagai berikut

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Nama Variabel	Satuan	Batas Spesifikasi (%)
x_1	Total Nitrogen (N)	% w/w	15 ± 1.5%
x_2	Fospat (P) sebagai P_2O_5	% w/w	15 ± 1.5%
x_3	Kalium (K) sebagai K_2O	% w/w	15 ± 1.5%

C. Struktur Data

Struktur data yang digunakan pada penelitian kualitas pupuk NPK di PT PUSRI adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Struktur Data

Fase	Observasi ke-	Karakteristik Kualitas (% w/w)		
		X_1	X_2	X_3
1	1	$x_{(1)1}$	$x_{(1)2}$	$x_{(1)3}$
	2	$x_{(2)1}$	$x_{(2)2}$	$x_{(2)3}$
	⋮	⋮	⋮	⋮
2	78	$x_{(78)1}$	$x_{(78)2}$	$x_{(78)3}$
	79	$x_{(79)1}$	$x_{(79)2}$	$x_{(79)3}$
	80	$x_{(80)1}$	$x_{(80)2}$	$x_{(80)3}$
	⋮	⋮	⋮	⋮
	172	$x_{(172)1}$	$x_{(172)2}$	$x_{(172)3}$

Keterangan :

$x_{(i)k}$ = nilai untuk karakteristik kualitas ke-k pada observasi ke-i, $i = 1, 2, \dots, t$ dan $k = 1, 2, 3$

Dimana X_1 merupakan nitrogen (N), X_2 merupakan Fospat (P) dan X_3 merupakan kalium (K). Satuan dari ketiga variabel tersebut adalah persen berat (% w/w).

D. Langkah Analisis

Langkah analisis yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendeskriptifkan data pada masing-masing variabel
2. Melakukan pengujian dependensi variabel dengan menggunakan uji *Bartlett*
3. Melakukan uji asumsi normal multivariat.
4. Melakukan pengontrolan rata-rata dan variabilitas proses dengan menggunakan peta kendali Max-MCUSUM. Nilai CUSUM berturut-turut yaitu M_i , diplotkan terhadap titik sampel. Titik pengamatan diplotkan menggunakan simbol berupa titik. Pembuatan peta kendali Max-MCUSUM adalah
 - a. Menentukan parameter berikut : p dan rata-rata vektor μ_G , rata-rata vektor μ_B , dan nilai target matriks kovarians Σ
 - b. Untuk setiap sampel hitung Z_i dan Y_i (8 dan 12)
 - c. Untuk mendeteksi perubahan pada vektor rata-rata proses dan matriks kovarians, hitung nilai k dan hitung jumlah kumulatif C_i^+, C_i^- (13) S_i^+ dan S_i^- (14) dan transform ke C_i dan S_i
 - d. Hitung nilai M_i dan bandingkan dengan h ; interval keputusan (15)
 - e. Titik pengamatan diplotkan dengan simbol titik dan plotkan terhadap sampel jika $M_i \leq h$
 - f. Jika nilai M_i lebih dari interval keputusan; h , karakter plottingan berikut harus digunakan untuk menunjukkan statistik bahwa peta kendali berada di atas interval
 - i. Jika $C_i \geq h$, plotkan C_+ .
 - ii. Jika $S_i \geq h$, plotkan V_+ .
 - g. Jika baik $C_i \geq h$ dan $S_i \geq h$, plotkan B_{++} . Jika proses tidak terkendali maka dilakukan identifikasi dengan mendeteksi variabel utama penyebab pengamatan *out of control*, kemudian dilanjutkan dengan mengidentifikasi sumber penyebab *out of control* pada proses produksi dengan diagram Ishikawa
5. Melakukan analisis kapabilitas proses produksi
6. Membuat interpretasi dan mengambil kesimpulan.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Kualitas Pupuk NPK

Untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas periode 23 November hingga 6 Desember 2017 pada pupuk NPK maka diberikan deskripsi kualitas pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK Fase I

Variabel	Rata-rata	Variansi	Minimum	Maksimum
Nitrogen (N)	14,060	1,625	10,860	17,320
Fospat (P)	15,177	4,041	10,010	21,520
Kalium (K)	14,207	2,868	10,510	18,599

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui secara umum rata-rata masing-masing variabel pada fase 1 berada dalam batas spesifikasi perusahaan. Namun, beberapa titik pengamatan pada ketiga variabel masih berada diluar batas spesifikasi. Hal ini dapat dilihat melalui nilai minimum dan maksimum

masing-masing variabel yang lebih kecil dari batas spesifikasi bawah yang dimiliki oleh perusahaan, yaitu 13.5% dan lebih tinggi jika dibandingkan dengan batas spesifikasi atas yang dimiliki perusahaan, yaitu sebesar 16.5%. Kemudian, dapat diketahui bahwa nilai variansi terkecil adalah pada variabel nitrogen, yaitu sebesar 1.625. Hal ini menunjukkan bahwa nilai persentase pada nitrogen periode 23 November hingga 7 Desember 2017 cenderung homogen, karena jarak antar data relatif kecil. Selanjutnya, untuk mengetahui gambaran umum tentang masing-masing karakteristik kualitas fase II, maka diberikan deskripsi kualitas pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4.
Deskripsi karakteristik kualitas pupuk NPK Fase I

Variabel	Rata-rata	Variansi	Minimum	Maksimum
Nitrogen (N)	14,260	1,095	11,750	17,520
Phospat (P)	15,329	2,446	12,700	19,280
Kalium (K)	15,029	3,306	10,040	18,500

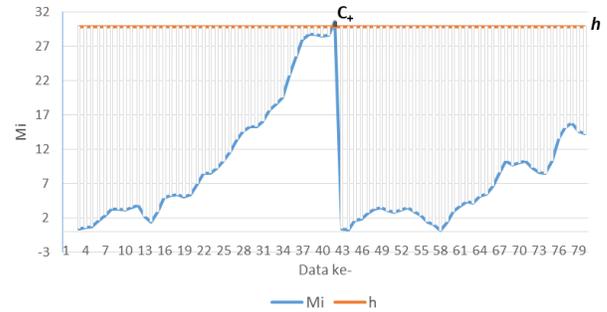
Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui secara umum rata-rata masing-masing variabel pada fase II tetap berada dalam batas spesifikasi perusahaan. Namun, beberapa titik pengamatan pada ketiga variabel, setelah adanya *maintenance* masih berada diluar batas spesifikasi yang ditentukan. Karena ketiga nilai minimum lebih kecil dari batas spesifikasi bawah yang dimiliki oleh perusahaan, yaitu 13.5%, dan ketiga nilai maksimum masing-masing variabel lebih tinggi jika dibandingkan dengan batas spesifikasi atas yang dimiliki perusahaan, yaitu sebesar 16.5%. Berdasarkan Tabel 4 diatas, juga dapat diketahui bahwa nilai variansi terkecil masih pada variabel nitrogen, yaitu sebesar 1.095. Hal ini menunjukkan bahwa setelah dilakukan *maintenance* nilai persentase pada nitrogen (N) periode 11 Desember hingga 27 Desember 2017 masih paling cenderung homogen, karena jarak antar data relatif kecil.

B. Pengendalian Kualitas Pupuk NPK Fase I Peta Kendali Max-MCUSUM

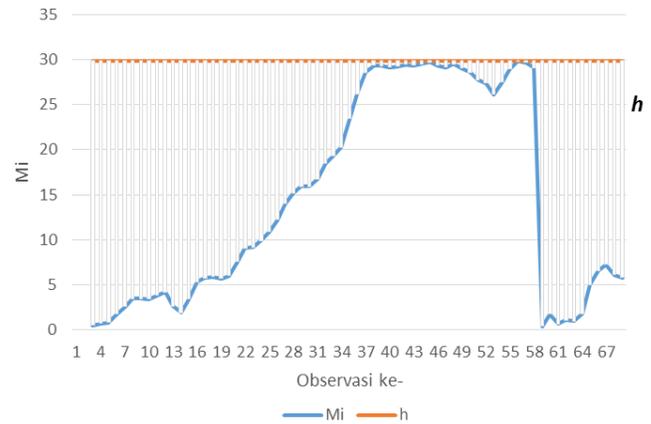
Selanjutnya, setelah diketahui bahwa uji asumsi dependensi dan uji normalitas telah terpenuhi. Maka dapat dilakukan pengendalian pada data karakteristik kualitas pupuk NPK fase I menggunakan peta kendali Max-MCUSUM. Sebelumnya, ditetapkan terlebih dahulu nilai batas kendali atas atau interval keputusan (*h*) melalui simulasi dengan ARL 370. Setelah dilakukan simulasi didapatkan interval keputusan yaitu sebesar 29.89 dengan ARL sebesar 370.28. Kemudian, pada setiap periode, nilai *mean* dan variansi yaitu *Mi* di plotkan terhadap interval keputusan (*h*). Jika nilai *Mi* lebih dari interval keputusan (*h*) berarti terjadi pergeseran proses. Sehingga didapatkan peta kendali Max-MCUSUM pada data fase I kualitas pupuk NPK (Gambar 1).

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat pada peta kendali Max-MCUSUM kualitas pupuk NPK fase I belum terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan terdapat titik observasi (*M_i*) yang berada di atas interval keputusan (*h*), yaitu titik observasi (*M_i*) ke-40, yang disimbolkan dengan *C₊* yang berarti nilai $C_{40} \geq h$, yaitu $30,58062 > 29,89$. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran proses pada vektor rata-rata. Maka dari itu perlu dilakukan tindakan perbaikan dan identifikasi penyebab pengamatan keluar batas kendali kemudian dilakukan

penghapusan pada titik observasi (*M_i*) ke-40. Selanjutnya statistik CUSUM di-reset ke nilai awal *S₀*. Kegiatan ini terus dilakukan hingga didapatkan peta kendali yang terkendali secara statistik atau dalam kata lain tidak memiliki titik observasi (*M_i*) yang berada di atas interval keputusan (*h*). Sehingga didapatkan peta kendali Max-MCUSUM akhir untuk fase I (Gambar 2).



Gambar 1. Max-MCUSUM Fase 1.



Gambar 2. Max-MCUSUM Fase 1.

Setelah dilakukan perbaikan peta kendali Max-MCUSUM sebanyak 11 kali perbaikan, didapatkan peta kendali Max-MCUSUM seperti Gambar 2 diatas. Berdasarkan peta kendali Max-MCUSUM diatas, dapat diketahui bahwa dengan menggunakan batas interval (*h*) 29.89, semua titik observasi berada di dalam batas interval atau dibawah batas kendali atas. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terjadi pergeseran baik pada rata-rata maupun variansi proses. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas pupuk NPK fase 1 menggunakan peta kendali Max-MCUSUM telah terkendali secara statistik. Penelitian selanjutnya dilanjutkan dengan melakukan pengendalian kualitas pupuk NPK fase II.

C. Pengendalian Kualitas Pupuk NPK Fase II Peta Kendali Max-MCUSUM

Pengendalian kualitas pupuk NPK fase II dilakukan untuk memonitoring kestabilan proses produksi pupuk NPK setelah dilakukan *maintenance*. Data yang digunakan untuk pengendalian kualitas menggunakan peta kendali Max-MCUSUM pada fase II merupakan data kualitas pupuk NPK pada tanggal 11 Desember hingga 27 Desember 2017 yaitu sebanyak 94 data. Pengendalian dilakukan menggunakan batas

kendali atau batas interval (h) yang didapatkan dari peta kendali Max-MCUSUM fase I. Nilai *mean* dan varians data fase II di plotkan terhadap interval keputusan (h) yaitu 29,86, sehingga didapatkan peta kendali Max-MCUSUM fase II sebagai berikut.



Gambar 3. Max-MCUSUM Fase 2.

Peta kendali Max-MCUSUM diatas menunjukkan bahwa proses produksi pupuk NPK fase II tidak terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan terdapat titik observasi (M_i) yang berada di atas interval keputusan (h), yaitu titik observasi (M_i) ke-76 yang disimbolkan dengan C_+ yang berarti nilai $C_{76} \geq h$, yaitu $29,91631 > 29,89$. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran proses pada vektor rata-rata. Maka dari itu perlu dilakukan tindakan perbaikan dan identifikasi penyebab pengamatan keluar batas kendali di kemudian hari.

D. Identifikasi Penyebab Proses Tidak Terkendali

Faktor-faktor yang menyebabkan adanya pengamatan yang berada diluar batas kendali tersebut dapat diidentifikasi melalui *brainstorming* dengan pihak perusahaan dan memeriksa *check sheet* pada laporan harian operasi pabrik NPK. Secara singkat, penyebab terjadinya proses produksi pupuk NPK yang tidak terkendali secara statistik dapat digambarkan melalui diagram ishikawa.

Berdasarkan diagram ishikawa, dapat diketahui bahwa Pada pabrik pupuk NPK, pengaruh kesalahan pengukuran terjadi khususnya pada komponen *feeder* bahan baku (mengatur ukuran *feed* pada dozometer) yang memberikan pengaruh besar terhadap komposisi kandungan pupuk NPK. Karena dozometer merupakan kunci dari input bahan baku yang dimasukkan ke dalam sistem granulasi sesuai pengaturan formula. Pada layar *display PLC* di panel pabrik sudah diterapkan jumlah *feed rate* (ton/jam) dari setiap bahan sesuai pengaturan formula. Namun, terkadang jumlah aktual yang keluar dari dozometer bisa jadi lebih atau kurang dari aturan ukuran yang telah ditetapkan, sehingga komposisi N P dan K tidak sesuai dengan yang seharusnya diinginkan. Untuk meminimalisir dan menjaga kestabilan proses, dapat dilakukan kalibrasi dozometer setiap *day shift*. Selain itu, pengukuran *level bin* dengan *feed rate* juga sering bergeser dari hasil target yang diinginkan. Umumnya, *feed rate* dozometer dan *level bin* idealnya memiliki nilai yang sama. Namun, kombinasi tersebut masih sering menghasilkan produk pupuk yang tidak stabil. Sehingga, untuk mencegah hal tersebut terjadi, *level bin* harus dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan komposisi N, P, atau K yang tidak stabil secara manual.

Sedangkan jika ditinjau dari sisi metode yang digunakan, ada kekeliruan pada dua metode yang diduga mempengaruhi kestabilan proses proses produk pupuk NPK. Metode yang pertama yaitu adalah metode *feeding*, yang diduga terjadi kesalahan pada pengaturan formula *feeding* sehingga menghasilkan produk yang tidak sesuai. Metode kedua yaitu adalah metode saat granulasi. Kesalahan pada metodegranulasi diduga karena bahan baku clay yang kurang lengket, formula dengan K yang terlalu tinggi dan produk DAP yang belum sempurna, namun lolos dari *crusher*. Hal-hal tersebut diduga mempengaruhi komposisi dari masing-masing variabel N, P, dan K.

Jika ditinjau melalui faktor bahan baku, yang diduga mempengaruhi ketidakstabilan proses produk pupuk NPK adalah salah satu bahan baku pupuk NPK, yaitu doso *clay*. *Clay* adalah bahan yang berfungsi sebagai bahan pengikat (*binder*) dan bahan pengisi (*filler*) pada butiran granul. *Clay* memegang peranan penting dalam proses granulasi di dalam granulator. Jika *clay* tersebut memiliki tingkat kelengketan yang rendah, maka di dalam proses granulasi bahan baku yang lain tidak akan tergranul dengan baik (lepas), sehingga menyebabkan analisis lab pada komposisi N, P dan K tidak stabil. Hal ini terutama berpengaruh pada bahan baku KCL, atau komposisi K, yang merupakan variabel yang susah untuk digranul. Selain itu, menjaga kontinuitas bahan yang keluar dari dozometer secara stabil sangatlah sulit, hal ini disebabkan karena semua bahan baku dari pupuk NPK yang bersifat powder/padatan, yang juga diduga membuat *crusher* pada mesin sering buntu.

Kemudian, dari segi faktor mesin, diketahui bahwa komponen mesin M-212 dimana *Inner Rubber* pada mesin sobek pada 3 segmen. Selain itu salah satu komponen mesin yaitu rantai indikasi juga lepas dari tempatnya yang seharusnya. Kedua komponen mesin tersebut merupakan komponen yang berada pada area *granulation loop* (GL) maka, kerusakan kedua komponen tersebut sangat berpengaruh dalam kestabilan proses produksi di pupuk NPK. Selain itu, komponen *crusher* pada mesin juga diduga mempengaruhi ketidakstabilan proses pada penelitian ini. *Crusher* terbagi menjadi *crusher* DAP dan urea. Kedua *crusher* ini berpengaruh terhadap kandungan unsur P dan K pada pupuk NPK. Jika butiran DAP atau urea tidak terpecah dengan cukup halus atau sempurna maka komposisi dapat menyimpang dari yang seharusnya ditargetkan. Oleh karena itu, perlu adanya *maintenance* pada setiap komponen mesin secara berkala dan tidak menunggu ketika kerusakan terjadi. Hal ini perlu dilakukan agar proses produksi dapat berjalan secara maksimal dan produk yang dihasilkan sesuai dengan target yang ditentukan oleh perusahaan. Penelitian kemudian dilanjutkan dengan melakukan analisis kapabilitas pada proses kualitas pupuk NPK.

E. Analisis Kapabilitas Proses Kualitas Pupuk NPK

Analisis kapabilitas adalah analisis yang digunakan untuk melihat kemampuan perusahaan dalam memenuhi batas spesifikasi yang sudah ditentukan perusahaan. Pada penelitian ini, didapatkan nilai P_p dan P_{pk} pada karakteristik kualitas Nitrogen (N) adalah 0.48 dan 0.24, Fosfat (P) sebesar 0.32 dan 0.25, Kalium (K) sebesar 0.27 dan 0.27. Dari hasil

perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa secara univariat, baik untuk variabel Nitrogen (N), Fosfat (P) dan Kalium (K) pada fase II memiliki nilai kurang dari 1. Hal ini berarti, ketiga variabel memiliki tingkat akurasi dan presisi yang rendah, sehingga belum dapat dikatakan kapabel.

Kemudian, perhitungan nilai kapabilitas dilanjutkan secara multivariat, yaitu menggunakan indeks kapabilitas Mpp dan Mppk, yaitu sebagai berikut.

$$MPp = (0.3 \times 0.48) + (0.3 \times 0.32) + (0.3 \times 0.27) = 0.321$$

$$MPpk = (0.3 \times 0.24) + (0.3 \times 0.25) + (0.3 \times 0.27) = 0.228$$

Berdasarkan hasil analisis secara multivariat, didapatkan nilai Mpp dan Mppk dengan bobot yang didapatkan melalui pembagian 1 dengan jumlah variabel, yaitu 0,3. Nilai Mpp dan Mppk pada data fase II kualitas pupuk NPK menunjukkan nilai kurang dari 1, yaitu 0.321 dan 0.228. Hal tersebut berarti secara multivariat, kinerja proses tidak kapabel, karena memiliki presisi dan akurasi yang rendah pada ketiga variabel tersebut.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan perhitungan mengenai pengendalian kualitas pupuk NPK menggunakan peta kendali Max-MCUSUM pada Bab IV, maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan batas interval (h) sebesar 29.89 proses produksi pupuk NPK fase I telah terkendali secara statistik setelah dilakukan identifikasi terhadap penyebab titik yang keluar batas interval dan dilakukan perbaikan. Sedangkan pada fase II, proses produksi pupuk NPK belum terkendali secara statistik. Hal ini dikarenakan masih terdapat titik pengamatan yang berada di atas batas interval (h) yang disimbolkan dengan C₊. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran proses pada vektor rata-rata.

Kemudian, pada perhitungan kapabilitas proses, dapat diketahui bahwa secara multivariat, nilai indeks kapabilitas kinerja proses baik MPp maupun MPpk kurang dari 1, yaitu sebesar yaitu 0.321 dan 0.228. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa proses produksi pupuk NPK pada PT Pupuk Sriwidjaja belum kapabel karena memiliki tingkat presisi dan akurasi yang rendah.

B. Saran

Saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya adalah sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan dapat melanjutkan penelitian dengan analisis reliabilitas terhadap mesin pada pabrik pupuk NPK, hal ini dilakukan agar dapat mencegah kerusakan terhadap mesin dengan melakukan *maintenance* atau pergantian komponen tepat pada waktunya, sehingga tindakan yang dilakukan tidak perlu menunggu mesin rusak terlebih dahulu. Hal tersebut diharapkan akan mengurangi adanya proses produksi yang kurang stabil.

2. Penerapan diagram kendali Max-MCUSUM diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk perusahaan dalam melakukan pengendalian proses produksi secara statistik selain hanya berdasarkan statistika deskriptif mengenai kesesuaian produk dengan batas spesifikasi yang telah ada. Hal ini berguna sebagai bentuk *continuous improvement* pada pabrik pupuk NPK dalam rangka meningkatkan kualitas produksi pada pabrik pupuk NPK

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PUSRI, "Pusri Laksanakan Penandatanganan Kontrak Proyek Pembangunan Pabrik NPK Fusion II," 2017.
- [2] S. Korkmaz, D. Goksuluk, and G. Zararsiz, "MVN: An R Package for Assessing Multivariate Normality," *R J.*, vol. 6, no. 2, pp. 2–3, 2014.
- [3] D. Morrison, *Multivariate Statistical Methods*, 3rd ed. New York: Mc Graw Hill Companies, 1990.
- [4] S. W. Cheng and K. Thaga, "Multivariate Max-CUSUM Chart," *Qual. Technol. Quant. Manag.*, pp. 221–235, 2005.
- [5] J. Healy, "A note on multivariate CUSUM procedures," *Technometrics*, pp. 409–412, 1987.
- [6] S. Raissi, "Multivariate process capability indices on the presence of priority for quality characteristics," *J. Ind. Eng. Int.*, pp. 27–36, 2009.