

Pengendalian Kualitas Produk Klinker Pada PT.XYZ dengan Menggunakan Grafik T^2 Hotelling

Budhy Rahmawatie^{1*)}, Retno Wulan Damayanti^{2*)}

^{1,2)}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Sebelas Maret Surakarta,
Jalan Ir. Sutami No. 36A, Surakarta, 57126, Indonesia
Email: rahmarahmawatie@gmail.com, rwd@ft.uns.ac.id

ABSTRAK

PT XYZ merupakan salah satu perusahaan semen di Indonesia. Untuk menjamin kualitas produk yang dihasilkan maka PT XYZ melakukan pengendalian kualitas untuk setiap proses produksinya. Dalam penelitian ini dianalisis adalah pengendalian kualitas klinker, hal ini dikarenakan produk klinker merupakan bahan utama dalam produk semen. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kualitas produk klinker dengan menggunakan metode grafik pengendali multivariat T^2 Hotelling *subgroup*. Standar kualitas yang digunakan yaitu LSF, C3A, C3S, FcaOx dan VW. Berdasarkan hasil analisis menggunakan peta kendali T^2 Hotelling diperoleh 24 pengamatan *subgroup* memiliki nilai $> UCL$ yang artinya data tersebut *out of control*. Dari analisis tersebut maka dapat disimpulkan bahwa proses produksi klinker masih belum terkontrol secara statistik. Penentuan *Critical to Quality* (CTQ) berdasarkan perhitungan nilai C_p dan C_{pk} yang terendah untuk masing masing parameter kualitas yang diukur, berdasarkan hal tersebut diketahui bahwa *free lime* (FCaOx) merupakan CTQ Klinker. Faktor-faktor penyebab *free lime out spec* digolongkan berdasarkan segi manusia, segi mesin, material, dan proses. Namun faktor yang paling krusial adalah faktor mesin karena mesin banyak yang kurang berfungsi secara optimal. Solusi perbaikan yang diberikan untuk mengurangi klinker *out spec* yaitu membuat SOP (*Standart Operating Procedure*) untuk melakukan pembersihan material yang menempel pada mesin dan melakukan pengecekan secara berkala proses pembakaran di kiln dan *raw mill*.

Kata kunci: klinker, kualitas, multivariat, T^2 Hotelling

1. Pendahuluan

Konsumsi semen di Indonesia pada tahun 2016 diestimasi tumbuh 7% seiring perbaikan penyerapan anggaran pemerintah serta ekspektasi pemulihan perekonomian nasional menjadi 5,2%. Berdasarkan Data Asosiasi Semen Indonesia (ASI) dalam Proxis East (2016) menunjukkan dengan adanya penambahan kapasitas dari sejumlah pemain yang telah ada dan munculnya pemain baru di industri ini, kapasitas semen nasional tahun 2016 diprediksi mencapai 79,8 juta ton, meningkat 9,7% dibanding tahun 2015 yaitu sebesar 72,7 juta ton. Dengan demikian, diperkirakan terjadi kelebihan pasokan sekitar 24% atau setara 19,2 juta ton tahun 2016. Untuk memenangkan kompetisi maka diperlukan kualitas produk yang baik. Kualitas merupakan totalitas fitur dan karakteristik yang mampu memuaskan kebutuhan, yang dinyatakan maupun tidak dinyatakan, kualitas mencakup pula daya tahan produk, kehandalan, ketepatan, kemudahan operasi dan perbaikan, serta atribut atribut nilai lainnya, dan beberapa atribut itu dapat diukur secara obyektif (Hermawan; 2011).

Pengendalian kualitas merupakan salah satu fungsi yang penting dari suatu perusahaan, agar kualitas produk terjamin. Produk semen merupakan merupakan produk utama yang diproduksi oleh PT XYZ, Semen yang diproduksi merupakan hasil campuran dari bahan tambang seperti batu kapur, *clay*, *iron ore*, *silika* dan zat *additive* lainnya. Selanjutnya produk tersebut akan diproses dalam *raw mill*, yang akan ditransfer menuju *blending silo*, yang selanjutnya diarahkan ke *kiln mill* untuk mengalami kalsinasi dan terbentuklah klinker, klinker yang sesuai spesifikasi akan langsung diproses ke bagian *finish mill* untuk selanjutnya ditambahkan zat *additive* dan terbentuklah semen.

Klinker merupakan bahan utama dalam pembuatan semen yang berupa bahan padat yang dihasilkan dari proses pembakaran dalam kiln membentuk butiran-butiran atau nodul, biasanya diameter 3-25 mm. Objek klinker dipilih karena produk klinker merupakan bahan utama dalam produk semen dimana klinker yang sesuai spesifikasi akan menuju *finishmill* untuk diproses lebih lanjut, sedangkan klinker yang *out spec* akan dimasukkan ke penampungan sementara menunggu diolah dengan klinker yang baik dengan perbandingan tertentu. Klinker yang berada diluar baku mutu (*out spec*) akan menyebabkan biaya produksi meningkat dan terjadi penumpukan material di gudang sehingga akan menghambat proses produksi selanjutnya. Selain itu, klinker yang *out spec* dapat meningkatkan beban kerja pekerja karena para pekerja harus sering melakukan *adjustment* agar hasil produksi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan oleh perusahaan. Gambar 1 menunjukkan produk klinker yang dihasilkan oleh PT.XYZ.



Gambar 1. Produk Klinker yang dihasilkan PT. XYZ

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana kualitas klinker yang dihasilkan pada proses produksi, mengetahui parameter apa saja yang berpengaruh terhadap kualitas klinker, faktor apa saja yang menyebabkan produk *out spec* serta usulan apa saja yang dapat diberikan untuk perbaikan kualitas klinker yang dihasilkan. Penelitian ini didasarkan pada pengujian klinker dari *laboratory Quality Control* PT XYZ pada bulan Maret 2016

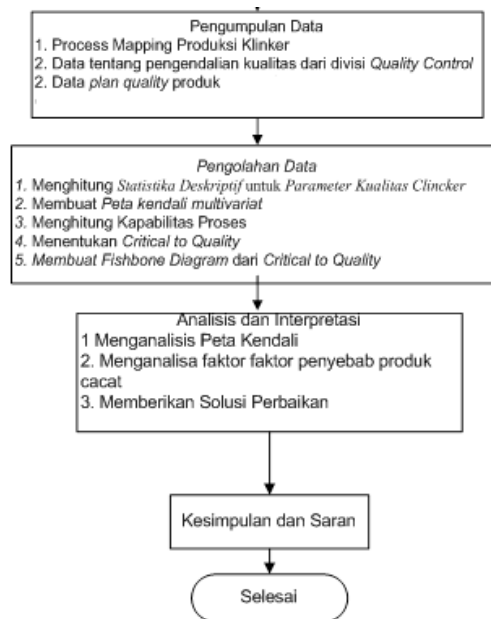
2. Metode

Semen (*cement*) adalah hasil industri dari paduan bahan baku berupa batu kapur sebagai bahan utama dan anah liat atau bahan pengganti lainnya dengan hasil akhir berupa padatan berbentuk bubuk/bulk, yang mengeras atau membatu pada pencampuran dengan air. Bila semen dicampurkan dengan air, maka terbentuklah beton (Duda;2007). Batu kapur adalah bahan alam yang mengandung senyawa kalsium oksida (CaO), sedangkan tanah liat adalah bahan alam yang mengandung senyawa: silika oksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃), besi oksida (Fe₂O₃) dan magnesium oksida (MgO). Untuk menghasilkan semen, bahan baku tersebut dibakar sampai meleleh, sebagian untuk membentuk Klinker, yang kemudian dihancurkan dan ditambah dengan gips (*gypsum*) dalam jumlah yang sesuai. Hasil akhir dari proses produksi dikemas dalam kantong/zak dengan berat rata-rata 40 kg atau 50 kg

Dalam pembuatan semen Portland, klinker merupakan bahan utama yang berupa bahan padat yang dihasilkan dari proses pembakaran dalam Kiln membentuk butiran-butiran atau nodul, biasanya diameter 3-25 mm. Klinker merupakan bahan utama dalam pembuatan semen yang dengan penambahan kalsium sulfat sedikit akan menjadi semen (Shaldrie, et.al ; 2016). *Free lime* (FCaOx) di klinker harus dijaga secara ketat untuk memastikan kualitas semen yang dihasilkan. Kelebihan *free lime* akan menyebabkan akibat yang kurang menguntungkan seperti ekspansi volume, peningkatan pengaturan waktu atau mengurangi kekuatan. Selain itu juga terdapat parameter lain yaitu C3S, C3A, VW, dan LSF.

Lime Saturation Faktor (LSF) merupakan LSF merupakan batasan agar semen yang dihasilkan tidak tercampur dengan bahan-bahan alami lainnya. C3S merupakan salah satu parameter kekuatan tekan suatu bahan. Semen dengan kadar C3S tinggi akan memberikan kekuatan awal yang tinggi. Hal ini berpengaruh pada percepatan penggunaan produk semen. Mineral C3A dalam semen dapat bereaksi dengan senyawa sulfat membentuk *high calcium sulfoaluminate hydrate*. Hal tersebut menyebabkan jumlah air kristal dalam C3A bertambah sehingga dapat menyebabkan ekspansi volume dan akhirnya menyebabkan keretakan beton.

Dalam kajian ini digunakan beberapa beberapa tools antara lain analisis deskriptif, analisis peta kendali T² Hotelling, analisa kapabilitas proses dan *fishbone diagram*. Setelah didapatkan suatu rumusan masalah berkaitan dengan kondisi yang ada, maka dilakukan beberapa tahap analisa sebagai berikut



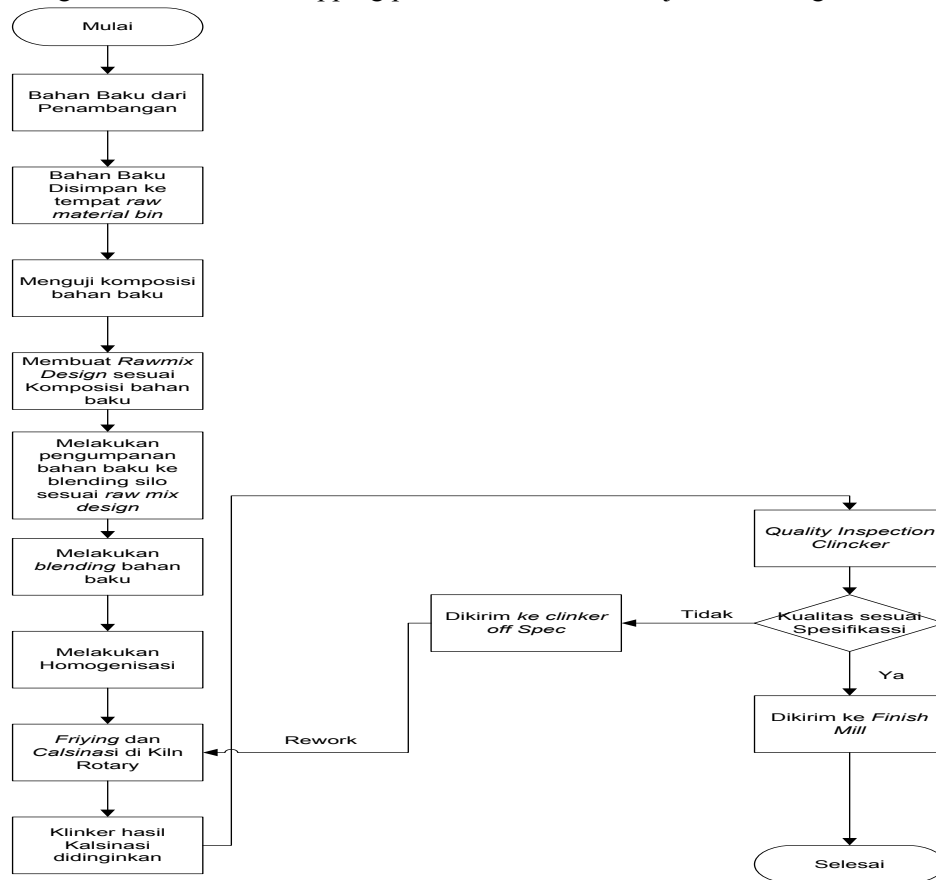
Gambar 2. Flowchart Penelitian

Dalam pengolahan data, data yang digunakan merupakan data sekunder yaitu data pengujian klinker pada bulan Maret 2016. Data tersebut kemudian diolah dengan statistika deskriptif untuk mengetahui gambaran umum kondisi produk secara univariat. Selanjutnya dilakukan pembuatan peta kendali multivariat untuk mengetahui kualitas produk secara multivariat. Perhitungan Kapabilitas proses dilakukan untuk mengetahui kapabilitas proses produksi klinker serta digunakan untuk menentukan *critical to quality*.

Setelah mengetahui *critical to quality*, tahap selanjutnya adalah mencari faktor faktor penyebab jenis kecacatan tersebut menggunakan diagram tulang ikan (*fishbone diagram*). *Fishbone diagram* adalah suatu cara untuk secara visual mengorganisasi dan menguji semua faktor yang bisa mempengaruhi situasi tertentu dengan mengidentifikasi semua penyebab yang mungkin, yang menghasilkan suatu efek (Michalko, 2001). Selanjutnya dilakukan analisis dari hasil penggunaan *fishbone diagram* untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab *free lime out spec* dan analisis terhadap tindakan perbaikan untuk mengurangi *free lime out spec*.

3. Hasil dan Pembahasan Proses Mapping

Proses Mapping merupakan salah satu *tools* yang digunakan dalam mendokumentasikan proses. Secara garis besar Proses mapping pembuatan klinker disajikan dalam gambar 2



Gambar 2. Process Mapping Produksi Klinker

Secara singkat proses produksi klinker diawali dari tahap pengadaan bahan baku hasil pertambangan. Bahan baku merupakan hasil pertambangan yang terdiri atas batu kapur, *silica*, tanah liat dan pasir besi yang dipasok dari berbagai perusahaan pertambangan yang dikontrak oleh perusahaan sebagai *supplier* kecuali bahan baku batu kapur dan tanah liat yang dipasok oleh sendiri oleh PT. XYZ. Selanjutnya bahan tersebut disimpan di *raw material bin* sebelum digunakan dalam proses produksi.

Selanjutnya divisi laboratorium kimia akan menguji komposisi bahan secara sampling pada bahan baku yang sudah berada di *raw material bin*. Hasil komposisi bahan ini yang nantinya akan menjadi bahan masukan bagi divisi *Process Engineer* dalam penentuan presentase campuran bahan baku (*Rawmix design*) yang akan digunakan dalam proses produksi. *Rawmix design* yang telah dibuat oleh divisi *Process Engineer* selanjutnya diberikan ke divisi CCR (*Center Control Room*) dan Divisi Produksi. Operator CCR dan produksi akan mengatur dan menjaga kinerja alat alat produksi (aliran gas, kerja *reclaimer*, putaran *blending silo* dan lainnya) agar sesuai dengan input *Rawmix design* yang diberikan oleh divisi *Process Engineer*. Proses produksi klinker (*Blending*, *homogenisasi*, dan kalsinasi) dilakukan secara otomatis sehingga divisi produksi hanya mengontrol dan menjaga kinerja mesin produksi agar sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.

Proses produksi klinker diawali dari tahap pengumpanan bahan baku ke *Blending Silo*, yang kemudian bahan akan *blending* agar semua bahan tercampur merata, selanjutnya bahan masuk ke proses selanjutnya untuk di-*homogenisasi* agar ukurannya seragam sehingga

memudahkan proses berikutnya. Proses selanjutnya adalah *Friying* dan kalsinasi di bagian *Rotary Kiln*. Pada proses tersebut maka terbentuk material klinker yang kemudian akan didinginkan sebelum diukur karakteristik kualitasnya.

Divisi Laboratorium Kimia selanjutnya melakukan pengujian untuk klinker yang dihasilkan. Hasil pengujian tersebut kemudian diberikan kepada Divisi Laboratorium *Quality Control* yang akan menentukan apakah klinker yang dihasilkan masih masuk spesifikasi atau tidak. Apabila klinker memenuhi spesifikasi maka klinker akan diproses pada fase berikutnya namun jika tidak maka klinker akan dikirim ke *clinker out spec silo*, dan akan di-*rework* pada proses selanjutnya.

Analisis Deskriptif

Ada 6 parameter kualitas yang digunakan untuk mengetahui karakteristik kualitas klinker yang dihasilkan yaitu LSF, C3S, C2A, VW, dan FCaOx. Sebelum dilakukan analisis karakteristik kualitas secara multivariate dilakukan analisis deskriptif statistik untuk kelima parameter kualitas klinker guna mengetahui gambaran umum tentang karakteristik kualitas secara univariat untuk tiap parameter kualitas. Pengolahan data statistik deskriptif parameter kualitas klinker dilakukan dengan menghitung nilai mean, varians, nilai maksimum dan minimum dari masing parameter yang diuji. Adapun formulasi perhitungan tersebut antara lain:

Menghitung rata-rata (mean) \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{(x_1+x_2+x_3+\dots+x_n)}{n} \quad (1)$$

dimana \bar{x} = mean
 x_i = Nilai ke $-i$
 n = Jumlah data i

Menghitung Varians

$$S^2 = \frac{(x_1-x_{bar})+(x_2-x_{bar})+\dots+(x_n-x_{bar})}{n} \quad (2)$$

Dimana S^2 = Varians
 x_i = Nilai ke $-i$
 x_{bar} = Means (Rataan data)
 n = Jumlah data i

Menentukan nilai maksimum dan minimum

$$\text{Min} = \min (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3)$$

$$\text{Max} = \max (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (4)$$

Pengolahan data analisis deskriptif dilakukan dengan software minitab 16. Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa nilai *mean* LSF, C3S, C3A, FCaOx dan VW masih dalam range antara BSB (Batas Spesifikasi Bawah) dan Batas Spesifikasi Atas (BSA). Hal ini menunjukkan bahwa semua parameter kualitas masih dalam batas pengendalian yang ditetapkan oleh perusahaan. Nilai minimum merupakan nilai terendah yang terukur selama pengamatan atau pengujian. Nilai minimum LSF, C3S, C3A dan FCaOx berada dibawah nilai minimum yang ditetapkan perusahaan. Sedangkan nilai minimum VW yaitu 1,01 dimana nilai tersebut masih didalam spesifikasi yang ditentukan oleh perusahaan dimana besarnya batas spesifikasi bawah yang ditetapkan yaitu 1,00. Nilai maksimum merupakan nilai tertinggi yang terukur selama pengamatan atau pengujian. Nilai maksimum parameter LSF, C3A, C3S, FCaOx dan VW berada diatas nilai maksimum yang ditetapkan oleh perusahaan.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Parameter Kualitas Klinker

Variable	Mean	StDev	Minimum	Maximum	BSB	BSA
LSF	97,404	3,629	91,3	114,36	94,00	99,00
C3S	61,674	4,155	50,41	72,1	59,00	65,00
C3A	9,327	0,6349	7,46	11,75	8,00	10,00
FCaOX	1,5242	1,2556	0,22	8,19	0,50	2,00
VW	1,2113	0,0283	1,01	1,28	1,00	1,25

Uji Normalitas

Penggunaan peta kendali multivariat diperkenalkan pertama kali oleh Hotelling (1947) yang digunakan pada prosedur pengendalian untuk data *bombsight* selama Perang Dunia II (Hotelling;1947). Sebelum data dilakukan pengendalian multivariat maka data harus diuji normalitas. Pengujian distribusi normal dilakukan untuk asumsi dasar yang harus dipenuhi dalam analisis peta kendali multivariat dan analisis kemampuan proses multivariat. Uji normalitas multivariat dilakukan dengan software SPSS 20 menggunakan *Chi-Square test* untuk semua parameter. Pada pengujian ini digunakan asumsi sebagai berikut:

- Ho : Observasi berasal dari populasi berdistribusi normal
Ha : Observasi berasal dari populasi berdistribusi tidak normal

Pembuatan keputusan dalam uji *Chi-Square test* adalah dengan melihat nilai *asymptop signifikan* (Ridwan,et.al;2013). Apabila nilai *asymptop signifikan* dibawah 0,05 maka Ha diterima dan apabila *asymptop signifikan* diatas 0,05 maka Ho diterima. Berikut adalah hasil output uji normalitas multivariat.

Tabel 2. Uji Normalitas dengan *Chi-Square Test*

	LSF	C3S	C3A	FCAOx	VW
Chi-Square	62,164 ^a	45,509 ^b	129,175 ^c	160,775 ^d	393,097 ^e
df	325	336	186	205	16
Asymp. Sig.	1,000	1,000	,999	,990	,000

Berdasarkan tabel 2 maka diketahui bahwa variabel LSF, C3S, C3A, dan FCAOx (*Free Lime*) berdistribusi normal multivariat, sedangkan variabel VW tidak berdistribusi normal multivariat.

Peta Kendali T² Hotteling

Peta kendali multivariat adalah peta kendali yang digunakan ketika dua atau lebih karakteristik kualitas yang berhubungan memerlukan pengendalian bersama-sama (Maratoni;2011). Diagram kontrol T² Hotelling merupakan diagram kontrol yang digunakan untuk pengendalian rata – rata suatu proses yang terdiri dari beberapa karakteristik kualitas. Pada penelitian ini menggunakan Peta Kendali T² Hotteling *Sub-group*, Peta kendali T² Hotelling subgrup dipilih karena lebih hemat dibandingkan peta kendali T² Hotelling individu, karena pengamatan sampel tidak dilakukan pada setiap unit yang membutuhkan waktu dan biaya yang relatif tinggi. Jika terdapat data subgrup yang lebih besar dari UCL (*Upper Center Line*) maka dapat disimpulkan data pengamatan berada di luar kendali statistik (*out of control*) (Mason,et.al.; 1999). Jika terdapat proses yang tidak terkontrol pada pengamatan tersebut dicari karakteristik yang berkontribusi terhadap data penyebab proses tidak terkendali.

Diagram T² Hotteling dirumuskan sebagai berikut:

$$T^2 = n (\hat{a}_{uv} - \hat{a}_v)' . S^{-1} (\hat{a}_{uv} - \hat{a}_v) \quad (5)$$

dimana T² = Peta kendali T²

n = Jumlah data

\hat{a}_{uv} = vektor rata – rata residual pengamatan ke-u karakteristik ke-v

S⁻¹ = invers matriks kovarian

Dimana besarnya BKA (Batas Kendali Atas) dan Batas Kendali Bawah (BKB) dihitung dengan dengan persamaan

$$BKA = \frac{m(g-1)-(n-1)}{gn-g-m+1} F_{\alpha; m, n-g-m+1} \quad (6)$$

$$BKB = 0 \quad (7)$$

dengan

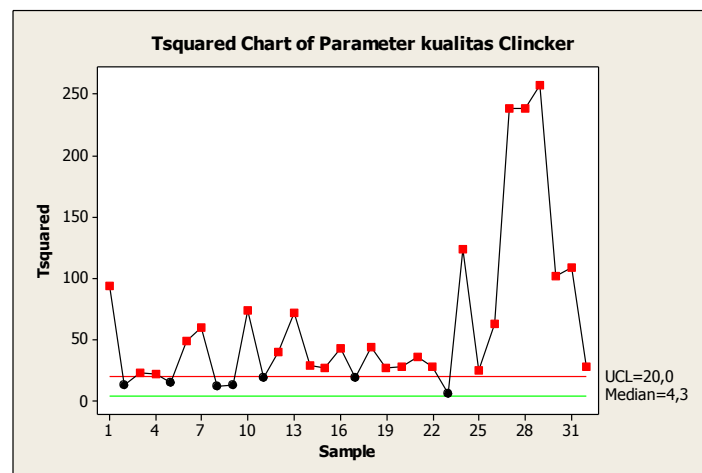
m = jumlah karakteristik kualitas

n = Jumlah pengamatan

g = Ukuran *subgroup* pengamatan

Pada pengolahan data uji normalitas diketahui bahwa empat variabel LSF, C3S, C3A, dan FCAOx (*Free Lime*) memenuhi syarat pengendalian kualitas multivariat karena berdistribusi normal. Sehingga dapat dibuat grafik pengendali multivariat T^2 Hotelling *subgroup* dengan tetap memasukkan variabel VW dalam pembuatan peta kendali multivariat karena belum diketahui faktor penyebabnya dan belum diimplementasikan usulan perbaikan proses sehingga data tersebut belum dapat dihilangkan. Proses pembuatan peta T^2 Hotelling subgroup dilakukan dengan software minitab 16. Pengujian karakteristik kualitas PT XYZ dilakukan setiap dua jam sekali, maka dalam satu hari terdapat 12 pengamatan atau pengujian sehingga besarnya satu *subgroup* dapat ditentukan yaitu 12 pengamatan. Gambar 3 merupakan output hasil pengolahan data pembuatan peta kendali multivariat.

Peta kendali multivariat hanya menunjukkan apakah produk sesuai spesifikasi atau tidak untuk semua parameter keseluruhan secara umum, dan tidak menunjukkan parameter kualitas mana yang menyebabkan produk *out of spec*. Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa 24 sub group data pengujian yang berada diatas peta kendali UCL yang artinya banyak spesifikasi produk yang *out spec*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa produk *clinker* yang dihasilkan belum terkendali sehingga perlu dilakukan perbaikan proses.



Gambar 3. Peta Kendali T^2 Hotteling Produk Klinker

Analisis Kapabilitas Proses

Kapabilitas proses merupakan suatu ukuran kinerja kritis yang menunjukkan proses tersebut mampu menghasilkan sesuai dengan spesifikasi produk yang ditetapkan oleh manajemen berdasarkan kebutuhan dan ekspektasi pelanggan. Pengolahan data dilakukan dengan software statistik Minitab16. Berikut adalah kapabilitas proses untuk tiap parameter kualitas.

Tabel 3. Kapabilitas Proses untuk Parameter Kualitas Klinker

No	Parameter	CP	Cpk	CPL	CPU
1	LSF	0.54	0.34	0.73	0.34
2	C3S	0.43	0.38	0.38	0.37
3	C3A	1.38	0.92	1.98	0.92
4	FCaOx	0.43	0.27	0.587	0.27
5	VW	2.02	0.62	3.41	0.82

Berdasarkan tabel 3 kapabilitas proses untuk parameter kualitas klinker diketahui bahwa nilai Cp untuk parameter LSF, C3S, dan FCAOx masih dibawah 1 yaitu secara berturut turut 0.54, 0.43, dan 0.43. Hal ini menunjukkan kapabilitas proses parameter LS, C3S dan FCAOx

adalah tidak baik atau rendah. Sedangkan untuk C3A yaitu sebesar 1.38 dan VW sebesar 2.02 sehingga dapat disimpulkan kapabilitas proses parameter C3A dan VVW adalah sudah baik atau *capable*.

Rasio Cpk merupakan posisi rata-rata proses dibandingkan dengan batas spesifikasi. Makin tinggi nilai Cpk makin kecil presentase produk yang terletak di luar batas spesifikasi (Rachman, 2013). Berdasarkan gambar diatas diketahui bahwa besarnya nilai Cpk LSF, C3S, C3A, FCaOx, dan VW berturut turut yaitu 0.34, 0.38, 0.92, 0.27 dan 0.62. Nilai Cpk berada diantara diantara nol dan satu yang artinya rata-rata proses terletak dalam batas spesifikasi tetapi beberapa bagian dari variasi proses terletak di luar batas spesifikasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk kesemua parameter rata-rata proses terletak dalam batas spesifikasi tetapi beberapa bagian dari variasi proses terletak di luar batas spesifikasi.

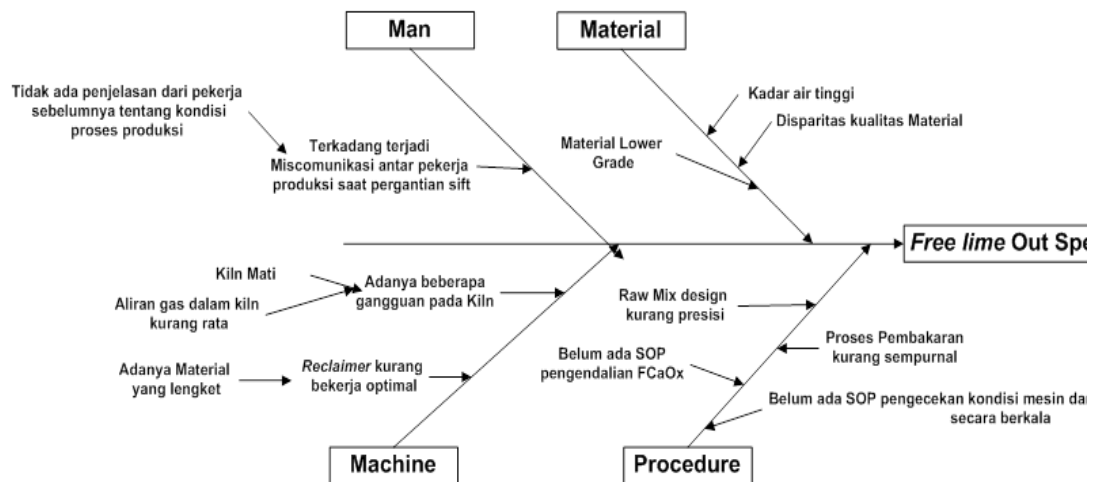
Besarnya nilai CPL (*Capability Process to Lower*) untuk LSF, C3S, dan FCaOx adalah 0.73, 0.38, 0.587. Besarnya CPL kurang dari satu yang berarti proses tidak mampu memenuhi batas spesifikasi bawah. Sedangkan CPL untuk C3A dan VW adalah 1.98 dan 3.41, yang artinya besarnya CPL lebih dari satu yang berarti proses mampu memenuhi batas spesifikasi bawah yang telah ditetapkan perusahaan. Besarnya nilai CPU (*Capability Process to Upper*) untuk LSF, C3S, C3A, FCaOx dan VW adalah 0,34, 0.37,0.92,0.27,dan 0.82. Besarnya CPU kurang dari satu yang berarti proses tidak mampu memenuhi batas spesifikasi atas.

Critical to Quality

Critical to Quality (CTQ) adalah atribut-atribut yang sangat penting untuk diperhatikan karena berkaitan langsung dengan kebutuhan dan kepuasan pelanggan. CTQ merupakan elemen dari suatu produk, proses, atau praktek-praktek yang berdampak langsung pada kepuasan pelanggan. Berdasarkan perhitungan kapabilitas proses pada sub-subbab sebelumnya dapat diidentifikasi *Critical to Quality* (CTQ) produk dengan melihat nilai Cp dan Cpk Terendah. Pemilihan Cp dan Cpk sebagai acuan pemilihan *Critical to Quality* (CTQ) karena parameter tersebut sudah memberikan informasi atau gambaran tentang kapabilitas proses untuk masing masing parameter. Berdasarkan kapabilitas proses yang sudah dibuat untuk masing masing karakteristik kualitas yang diuji diketahui bahwa *Free Lime* (FCaOx) memiliki nilai Cp dan Cpk terendah sehingga dapat disimpulkan bahwa *Critical to Quality* (CTQ) untuk produk *clinker* adalah parameter kualitas *Free Lime* (FCaOx).

Fishbone Diagram

Fishbone Diagram digunakan untuk mengetahui penyebab terjadinya *Free lime out spec* . Sehingga penulis dapat memberikan saran perbaikan untuk PT. XYZ. Faktor-faktor yang menyebabkan *Free lime out spec* berdasarkan pengamatan langsung dan pusat kontrol kendali. Selain dari pengamatan langsung, paparan dari Divisi Laboratorium *Quality Control*, Departemen Produksi dan Departemen *Process Engineer* juga berkontribusi dalam menemukan penyebab *Clinker out spec* Setelah ditemukan faktor-faktor penyebab *Free lime out spec* kemudian dikelompokkan berdasarkan empat segi yaitu manusia (*man*), mesin (*machine*), bahan material (*material*), dan proses (*method*). Diagram tulang ikan atau diagram sebab-akibat dari *free lime out spec* disajikan pada gambar 4



Gambar 4. Diagram Tulang Ikan Faktor-Faktor Penyebab *Free-lime Out-spec*

Faktor-faktor penyebab *Free lime out spec* yang digambarkan pada diagram tulang ikan, yaitu mesin, material, mesdin dan prosedur. Ditinjau dari segi mesin, terdapat beberapa kendala yang menyebabkan proses produksi terhambat sehingga *Free lime out spec*. Penyebab yang paling sering dialami *reclaimer* macet. *Reclaimer* yaitu alat yang digunakan untuk mengontrol jumlah bahan baku yang dicampur sebelum memasuki *raw mill*. Selain itu *rotary kiln* juga mengalami beberapa gangguan seperti kiln mati sehingga proses produksi harus dihentikan selain itu panas dari kiln tidak merata sehingga proses Kalsinasi kurang berjalan optimal yang berakibat pada meningkatnya kadar *free lime* dalam kiln akibat tidak bereaksi dengan oksida yang lain.

Ditinjau dari segi bahan atau material yang digunakan, penyebab utama karena kadar air yang tinggi pada bahan. Kadar air yang tinggi menyebabkan proses pembuatan semen dengan proses kering kurang optimal, selain itu tingginya kadar air menyebabkan kinerja *reclaimer* kurang optimal karena adanya material yang menutup lubang output sehingga material tidak keluar dengan lancar. Faktor pengganggu lainnya yaitu disparitas kualitas yang tidak sama karena bahan baku berasal dari tambang sehingga sulit untuk mengendalikan kualitas raw material. Selain itu bahan yang digunakan merupakan bahan yang *lower grade* karena untuk penghematan biaya selain itu terkadang digunakan bahan yang sudah tidak terpakai seperti besi bekas sebagai pengganti *iron ore*.

Ditinjau dari proses produksi, penyebab utama karena komposisi campuran bahan baku (*raw mix design*) kurang presisi karena komposisi bahan yang digunakan sebagai dasar *raw mix design* didasarkan pada sampling selama proses produksi sehingga setiap waktu proses *raw mix design* harus selalu dikontrol dan diatur ulang. Selain itu, faktor yang berpengaruh adalah proses pembakaran (kalsinasi) kurang optimal karena aliran gas yang digunakan pada *preheater* dan *calsiner* kurang tinggi sehingga proses kalsinasi kurang optimal. Selain itu belum adanya SOP (*Standart Operating Procedure*) untuk pengendalian FCaOx dan Perawatan mesin secara berkala. Pengendalian yang dilakukan selama ini hanya mengendalikan parameter LSF (*Lime Saturation Factor*), selain itu parameter FCaOx masih dianggap kurang penting dalam pengendalian kualitas. SOP perawatan mesin secara berkala belum dilakukan ada, hal ini disebabkan selama proses pengendalian, pekerja departemen maintenance baru akan melakukan perbaikan dan pengecekan ketika ada laporan masuk dari pihak produksi atau departemen lain.

Ditinjau dari proses manusia, penyebab utama karena kurangnya komunikasi antara pekerja produksi sift, dimana pekerja sebelumnya tidak memberikan informasi tentang kondisi proses produksi. Hal tersebut berakibat pada proses pengendalian produksi yang kurang optimal karena pekerja harus melihat dan mempelajari terlebih dahulu kondisi proses produksi sehingga perlu dilakukan proses penyesuaian pekerjaan oleh pekerja *shift* berikutnya. Hal ini dapat

menghambat pekerja berikutnya untuk mengambil keputusan secara cepat jika terjadi masalah pada awal pergantian *shift*.

4. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan klinker yang dihasilkan pada bulan Maret 2016, memiliki nilai *mean* untuk masing masing parameter masih dalam batas spesifikasi yang ditentukan. Namun berdasarkan peta kendali multivariat proses produksi diluar pengendalian karena terdapat banyak data yang *outlier*. sehingga dapat disimpulkan proses produksi klinker pada PT XYZ untuk bulan Maret 2016 adalah diluar kendali, Penentuan *Critical to Quality (CTQ)* berdasarkan perhitungan nilai C_p dan C_{pk} yang terendah untuk masing masing parameter kualitas yang diukur, sehingga *Critical to Quality (CTQ)* untuk produk klinker adalah *Free lime*. Faktor-faktor penyebab *free lime out spec* digolongkan berdasarkan segi manusia (*man*), segi mesin (*machine*), bahan material (*material*), proses (*methode*). Namun faktor yang paling krusial adalah faktor mesin karena mesin banyak yang kurang berfungsi secara optimal akibat banyak material yang menempel pada mesin dan mengganggu proses produksi

Solusi perbaikan yang diberikan untuk mengurangi *produk out spec* yaitu membuat SOP (*Standart Operating Procedure*) untuk melakukan pembersihan material yang menempel pada mesin dan melakukan pengecekan secara berkala proses pembakaran di *kiln* dan *Raw mill*.

Daftar Pustaka

- Duda, Walter H. 2007. *Cement Data Book : International Process Engineering in the Cement Industry 3rd edition*. Berlin: Auflage
- Hermawan, Budi. 2011. Pengaruh Kualitas Produk Terhadap Kepuasan, Reputasi Merek dan Loyalitas Konsumen Jamu Tolak Angin Pt. Sido Muncul. *Jurnal Manajemen Teori dan Terapan Tahun 4, No. 2, Agustus 2011*. Diakses tanggal 12 April 2016, dari http://jmtt.jurnalunair.com/pdf/Tahun%202011%20-%20Bulan%20Agustus%20-%20Edisi%20ke%202/articles/02_Artikel_Budi_Hermawan.pdf
- Maratoni, Hanatri Putri. 2011. Analisis Pengendalian Kualitas Statistik Multivariat Proses Produksi Kertas HVS 50 Gsm Di PT. Kertas Leces (Persero). *Jurnal Agri-tek Volume 12 Nomor 2 September 2011*. Diakses dari http://www.unmermadiun.ac.id/repository_jurnal_penelitian/Jurnal%20Agritek/Jurnal%20Agri-tek%202011/September/_2_%20Jurnal_Hanatri%20Putri%20Maratoni_hal%2019-32baru.pdf
- Mason, Robert, L. Nola D. Tracy, & John C. Young. 1999. A Practical Approach for Interpreting Multivariate T^2 Control Chart Signal. *Journal of Quality Technology*.
- Michalko, Michael. 2001. *Cracking Creativity : The Secret of Creative Genius*. Yogyakarta : Andi.
- Proxis East. 2016. Persaingan Merek Semen di Pulau Jawa dan Kalimantan Memanas. diakses tanggal 15 Maret 2017 dari <https://surabaya.proxisgroup.com/persaingan-merek-semen-di-pulau-jawa-dan-kalimantan-memanas/>
- Rachman, Taufiqur. 2013. Analisa Penyimpangan, Process Capability, dan Implementasi TQM. *Diktat kuliah Manajemen Kualitas Universitas Esa Unggul : Jakarta* diakses dari http://digilib.esaunggul.ac.id/public/UEU-paper-6526-EMA503_12_-_Analisa_Penyimpangan_CP_Implementasi_TQM.pdf
- Ridwan, et.al. 2013. *Cara Mudah belajar SPSS 17.0 dan Aplikasi Statistik Penelitian Cetakan Ketiga*. Bandung : Penerbit Alfabeta
- Shaldrie, et.al. 2016. Hilang Pijar. Diakses tanggal 12 April 2016 dari <http://documents.tips/documents/hilang-pijar.html>