

Penerapan Diagram *Fuzzy U* pada Pengontrolan Kualitas Produksi Kaca *Automotive* Tipe *Laminated*

Vela Riski Pradini dan Muhammad Mashuri

Jurusan Statistika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: mashuri1962@gmail.com dan pradinivela@gmail.com

Abstrak—Saat ini industri manufaktur Indonesia menunjukkan suatu peningkatan yang signifikan, namun industri kaca justru mengalami penurunan sebesar 2% sejak Tahun 2010. Hal ini menunjukkan keadaan yang kontradiksi dengan potensi yang dimiliki Indonesia untuk mendukung perkembangan industri kaca. PT. Asahimas Flat Glass Tbk. sebagai salah satu produsen kaca terbesar di Indonesia, dituntut untuk menjalankan proses produksi secara baik dan benar agar menghasilkan produk yang sesuai dengan harapan konsumen. Pada prosesnya, seringkali ditemukan produk cacat, dimana dalam penentuan status kaca apakah layak diterima atau tidak, kerap ditemukan kesamaran karena proses penentuannya yang dilakukan secara visual oleh operator. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan diagram *fuzzy u* untuk mengetahui suatu proses produksi berada dalam batas kontrol atau tidak dengan mempertimbangkan faktor kesamaran dalam suatu kasus. Diagram kontrol *fuzzy u* menunjukkan bahwa dari total 207 pengamatan, terdapat 65 pengamatan *in control*, 45 pengamatan *rather in control*, 24 pengamatan *rather out of control*, dan 73 pengamatan *out of control*. Selain itu, proses yang tergolong *out of control* paling banyak ditemukan pada Bulan Januari 2015. Hal ini disebabkan karena banyak ditemukannya cacat pada produk, seperti cacat *bubble*, *scratch*, serta *cullet*.

Kata Kunci—Diagram Fuzzy U, Kaca, Pengontrolan Kualitas.

I. PENDAHULUAN

Industri manufaktur Indonesia saat ini mulai menunjukkan suatu peningkatan, Kementerian Perindustrian (Kemenperin) Indonesia menyebutkan bahwa saat ini industri makanan dan minuman merupakan pemain utama dalam industri manufaktur. Selain itu, bidang industri otomotif mesin dan elektronika juga mengalami pertumbuhan pesat di atas 20 persen [1]. Namun pada kenyataannya tidak semua industri manufaktur mengalami pertumbuhan, menurut data dari Badan Pusat Statistik, perkembangan ekspor industri kaca dan barang dari kaca mengalami *trend* penurunan 2 persen sejak tahun 2010 sampai 2014. Begitu pula pada tahun 2015, industri kaca belum menunjukkan adanya peningkatan dan malah mengalami penurunan 5 persen dari tahun sebelumnya [2]. Hal ini menunjukkan kondisi yang kontradiksi dengan potensi yang dimiliki Indonesia untuk mendukung perkembangan industri kaca.

PT. Asahimas Flat Glass Tbk. merupakan salah satu produsen kaca terbesar di Asia Tenggara. Kaca otomotif (*automotive glass*) merupakan salah satu produk Asahimas yang banyak diproduksi karena permintaan konsumen yang tinggi. Hal ini menuntut perusahaan

untuk menjalankan proses produksi secara baik agar menghasilkan produk yang sesuai dengan harapan konsumen. Penentuan status kaca apakah diterima atau *reject* dilakukan oleh Departemen *Quality Control* dengan melihat secara visual produk kaca yang dihasilkan. Sehingga, terdapat suatu kesamaran dalam pengukuran suatu produk kaca apakah produk tersebut layak diterima atau tidak. Diagram kontrol *fuzzy* sangat sesuai digunakan untuk observasi yang menghasilkan data (informasi) yang samar, kurang jelas dan berdasarkan subjektivitas (persepsi) seseorang.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *Direct Fuzzy Approach* (DFA) memiliki keunggulan dibanding diagram kontrol *fuzzy* biasa karena tanpa adanya transformasi maka akan mencegah terjadinya informasi yang hilang dari data tersebut [3]. Penelitian lain menunjukkan bahwa diagram kontrol *fuzzy* memberikan hasil yang lebih akurat dibandingkan diagram kontrol demerit pada kasus pengontrolan kualitas botol [4]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa diagram kontrol *fuzzy u* memberikan hasil yang lebih cermat dalam mengendalikan kualitas dibandingkan diagram kontrol demerit yang mengikuti aturan *shewart* [5].

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai penerapan diagram *fuzzy u* pada pengontrolan kualitas kaca *automotive* tipe *laminated* di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo. Selain itu, akan dibahas pula penerapan diagram kontrol demerit pada produk kaca tersebut. Kemudian dari kedua diagram kontrol tersebut, *fuzzy u* dan demerit, akan dilakukan perbandingan hasil keputusan proses untuk mengetahui diagram kontrol mana yang memiliki sensitivitas lebih baik. Disamping itu, pada penelitian ini juga akan dilakukan analisis jenis cacat dan penyebab cacat dominan serta bagaimana karakteristik data kecacatan kaca *laminated* di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Diagram Kontrol Demerit

Diagram kontrol demerit merupakan diagram kontrol dimana jenis cacat dikategorikan menjadi beberapa kelas menurut tingkat kepentingan cacatnya [6]. Pola cacat produk secara umum berdasarkan bobot cacatnya dibagi menjadi 4 kategori, yaitu cacat kelas A (*very serious*), cacat kelas B (*serious*), cacat kelas C (*moderately serious*), dan cacat kelas D (*Minor*) [7].

Jumlah cacat terboboti untuk masing-masing kelas dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 &\text{Jumlah cacat terboboti kelas A : } w_A \cdot c_A \\
 &\text{Jumlah cacat terboboti kelas B : } w_B \cdot c_B \\
 &\text{Jumlah cacat terboboti kelas C : } w_C \cdot c_C \\
 &\text{Jumlah cacat terboboti kelas D : } w_D \cdot c_D
 \end{aligned} \tag{1}$$

dimana c_i merupakan jumlah cacat untuk setiap kelas, serta w_i adalah bobot cacat pada setiap kategori kelas cacat. Selanjutnya menghitung jumlah cacat terboboti untuk masing-masing subgrup dengan persamaan berikut.

$$D_i = w_A \cdot c_{iA} + w_B \cdot c_{iB} + w_C \cdot c_{iC} + w_D \cdot c_{iD}; i = 1, 2, \dots, m \tag{2}$$

Nilai rata-rata cacat per unit pemeriksaan (u_i) setiap subgrup dengan rumus berikut.

$$u_i = \frac{D_i}{n_i}; i = 1, 2, \dots, m \tag{3}$$

Jumlah rata-rata cacat per unit untuk jenis cacat terboboti secara keseluruhan (\bar{u}), diperoleh menggunakan persamaan:

$$\bar{u} = w_A \bar{u}_A + w_B \bar{u}_B + w_C \bar{u}_C + w_D \bar{u}_D \tag{4}$$

dimana nilai (\bar{u}) selanjutnya digambarkan sebagai *center line* pada diagram kontrol demerit. Sementara itu, nilai dari batas kontrol dapat digambarkan sebagai UCL (*Upper Control Limit*) dan LCL (*Lower Control Limit*) sebagai:

$$\begin{aligned}
 &\text{Upper Control Limit (UCL)} = \bar{u} + 3\hat{\sigma}_u \\
 &\text{Center Line (CL)} = \bar{u} \\
 &\text{Lower Control Limit (LCL)} = \bar{u} - 3\hat{\sigma}_u
 \end{aligned} \tag{5}$$

dengan nilai $\hat{\sigma}_u$ adalah:

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt{\frac{w_A^2 \bar{u}_A + w_B^2 \bar{u}_B + w_C^2 \bar{u}_C + w_D^2 \bar{u}_D}{n}} \tag{6}$$

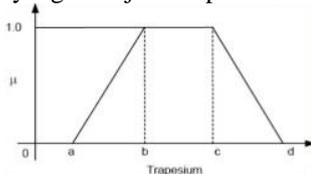
dimana $\bar{u}_A, \bar{u}_B, \bar{u}_C,$ dan \bar{u}_D menunjukkan rata-rata cacat per unit untuk kategori A, B, C, dan D yang diperoleh dengan rumus:

$$\bar{u}_A = \frac{\sum_{i=1}^m c_{iA}}{\sum_{i=1}^m n_i}; \bar{u}_B = \frac{\sum_{i=1}^m c_{iB}}{\sum_{i=1}^m n_i}; \bar{u}_C = \frac{\sum_{i=1}^m c_{iC}}{\sum_{i=1}^m n_i}; \bar{u}_D = \frac{\sum_{i=1}^m c_{iD}}{\sum_{i=1}^m n_i} \tag{7}$$

dengan $i = 1, 2, \dots, m$.

B. Logika Fuzzy

Teori himpunan *fuzzy* merupakan kerangka matematis yang digunakan untuk merepresentasikan kesamaran, ketidakjelasan, ketidaktepatan, kekurangan informasi, dan kebenaran parsial. Pada teori himpunan *fuzzy*, komponen utama yang sangat berpengaruh adalah fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan merepresentasikan derajat kedekatan suatu obyek terhadap atribut tertentu [8]. Terdapat beberapa fungsi keanggotaan yang dapat digunakan, namun yang sering digunakan adalah representasi kurva *triangular* dan *trapezoidal*. Kurva *trapezoidal* pada dasarnya sama seperti kurva *triangular*, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Trapezium (*Trapezoidal*)

Fungsi keanggotaan:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a} & ; a \leq x \leq b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & ; x \geq d \end{cases} \tag{8}$$

C. Diagram Kontrol Fuzzy U

Diagram kontrol *fuzzy* berperan dalam pengendalian kualitas yang mengandung kesamaran (*vagueness*),

seperti pada kasus kecacatan produk. Klasifikasi bentuk biner pada diagram kontrol berbasis *shewart* dianggap kurang mampu memberikan hasil yang maksimal, sehingga diperkenalkan diagram kontrol berbasis *fuzzy*. Salah satu diagram kontrol yang menggunakan konsep *fuzzy* adalah *fuzzy u* [9]. Tabel 1. menampilkan perbandingan antara diagram kontrol *shewart* dan diagram kontrol *fuzzy* [3].

TABEL 1. PERBANDINGAN DIAGRAM KONTROL SHEWART DAN FUZZY

Karakteristik Pembeding	Diagram Kontrol Shewart	Diagram Kontrol Fuzzy
Jumlah karakteristik kualitas	Hanya memiliki satu karakteristik kualitas	Memiliki banyak karakteristik kualitas
Ketersediaan dan jenis data	Data tersedia secara lengkap dan jelas	Data mengandung kesamaran, ketidakjelasan, dan informasi yang tidak lengkap
Informasi yang digunakan	Data masa lalu	Pengalaman dan pendapat para ahli
Keputusan	<i>In control</i> atau <i>out of control</i>	Menggunakan keputusan linguistik

Pada kasus *trapezoidal*, rata-rata jumlah cacat per unit selanjutnya dianggap sebagai *trapezoidal fuzzy number* (a, b, c, d). *Center Line* (CL) merupakan rata-rata dari *fuzzy samples* dan ditunjukkan sebagai $(\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d})$ dimana $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}$ adalah rata-rata dari a, b, c, d [3] yang ditunjukkan pada persamaan:

$$\bar{u} = \left(\frac{\sum_{i=1}^m a_i}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m b_i}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m}, \frac{\sum_{i=1}^m d_i}{m} \right) = (\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}) \tag{9}$$

dimana m adalah jumlah subgrup pengamatan.

Batas kontrol CL, LCL, dan UCL selanjutnya dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$CL = (\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}, \bar{d}) = (CL_1, CL_2, CL_3, CL_4) \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 LCL &= CL - 3\sqrt{\frac{CL}{n}} = (CL_1, CL_2, CL_3, CL_4) - 3\sqrt{\frac{(CL_1, CL_2, CL_3, CL_4)}{n}} \\
 &= (CL_1 - 3\sqrt{\frac{CL_1}{n}}, CL_2 - 3\sqrt{\frac{CL_2}{n}}, CL_3 - 3\sqrt{\frac{CL_3}{n}}, CL_4 - 3\sqrt{\frac{CL_4}{n}}) \\
 &= (LCL_1, LCL_2, LCL_3, LCL_4)
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 UCL &= CL + 3\sqrt{\frac{CL}{n}} = (CL_1, CL_2, CL_3, CL_4) + 3\sqrt{\frac{(CL_1, CL_2, CL_3, CL_4)}{n}} \\
 &= (CL_1 + 3\sqrt{\frac{CL_1}{n}}, CL_2 + 3\sqrt{\frac{CL_2}{n}}, CL_3 + 3\sqrt{\frac{CL_3}{n}}, CL_4 + 3\sqrt{\frac{CL_4}{n}}) \\
 &= (UCL_1, UCL_2, UCL_3, UCL_4)
 \end{aligned} \tag{12}$$

Terdapat beberapa pendekatan pada diagram kontrol *fuzzy*, salah satunya *fuzzy mode*. Karena fungsi keanggotaan dari *trapezoidal* bersifat multimodal, maka *fuzzy mode* merupakan himpunan titik-titik yang terletak antara b dan c , $[b, c]$. Persamaan 10 sampai 12 selanjutnya ditransformasi menggunakan *fuzzy mode* seperti persamaan berikut [3].

$$S_{mod,j} = [b_j, c_j] \tag{13}$$

$$CL_{mod} = f_{mod}(CL) = (CL_2, CL_3) \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 LCL_{mod} &= CL_{mod} - 3\sqrt{\frac{CL_{mod}}{n}} \\
 &= (CL_2 - 3\sqrt{\frac{CL_2}{n}}, CL_3 - 3\sqrt{\frac{CL_3}{n}}) = (LCL_2, LCL_3)
 \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 UCL_{mod} &= CL_{mod} + 3\sqrt{\frac{CL_{mod}}{n}} = (CL_2 + 3\sqrt{\frac{CL_2}{n}}, CL_3 + 3\sqrt{\frac{CL_3}{n}}) \\
 &= (UCL_2, UCL_3)
 \end{aligned} \tag{16}$$

Selanjutnya dihitung persentase daerah yang masuk ke dalam batas kontrol (β_j) untuk dapat dibandingkan dengan persentase penerimaan awal (β) dimana:

$$\beta_j = \begin{cases} 0 & ; b_j \geq UCL_3 \\ \frac{UCL_3 - b_j}{c_j - b_j} & ; (LCL_2 \leq b_j \leq UCL_3) \wedge (c_j \geq UCL_3) \\ 1 & ; (b_j \geq LCL_2) \wedge (c_j \leq UCL_3) \\ \frac{LCL_2 - b_j}{c_j - b_j} & ; (b_j \leq LCL_2) \wedge (LCL_2 \leq c_j \leq UCL_3) \\ 0 & ; c_j \leq LCL_2 \end{cases} \tag{17}$$

sehingga keputusan dari kontrol proses diberikan sebagai berikut.

$$\text{Kontrol proses} = \begin{cases} \text{in control} & ; \beta_j = 1 \ (b_j \geq LCL_2) \\ \text{out of control} & \wedge c_j \leq UCL_3 \\ \text{rather in control} & ; \beta_j = 0 \ (b_j \geq UCL_3) \\ \text{rather out of control} & \vee c_j \leq LCL_2 \\ & ; \beta_j \geq \beta \\ & ; \beta_j < \beta \end{cases} \quad (18)$$

Untuk menentukan bobot yang digunakan membentuk *fuzzy number* pada diagram kontrol *fuzzy*, digunakan transformasi dengan *crispcore*. Tabel 2. berikut menunjukkan *crispcore* untuk nilai *fuzzy* yang digunakan [10].

TABEL 2. CRISPCORE UNTUK NILAI FUZZY

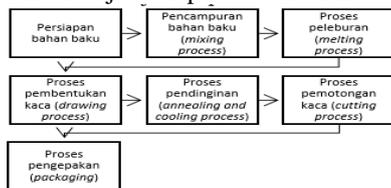
Scale	1	2	3	4	5	6	7	8
No. of term used	two	three	five	five	six	seven	nine	eleven
Extremely high								0,954
Very high			0,909		0,917	0,909	0,917	0,864
High-very high							0,875	0,701
High	0,750	0,833	0,717	0,885	0,750	0,733	0,750	0,667
Fairly high				0,700	0,584		0,63	
Mol high						0,637		0,590
Medium	0,583	0,500	0,500	0,500		0,500	0,500	0,500
Mol low						0,363		0,410
Fair low				0,300	0,416		0,370	
Low		0,166	0,283	0,115	0,250	0,227	0,250	0,333
Very-very low							0,125	0,299
Very low			0,091		0,083	0,091	0,083	0,136
None								0,046

D. Diagram Pareto

Diagram pareto adalah grafik yang menunjukkan masalah berdasarkan urutan banyaknya kejadian. Masalah yang paling banyak terjadi ditunjukkan oleh grafik batang pertama yang tertinggi serta ditempatkan pada sisi paling kiri dan seterusnya sampai masalah yang paling sedikit terjadi ditunjukkan oleh grafik batang terakhir yang terendah serta ditempatkan pada sisi paling kanan. Selain itu, diagram pareto juga dapat mengidentifikasi masalah yang paling penting yang mempengaruhi usaha perbaikan kualitas [11].

E. Proses Produksi Kaca di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo

Secara ringkas proses produksi kaca di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Produksi Kaca di PT. Asahimas Flat Glass Tbk.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari Departemen *Quality Control* PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo selama Bulan Januari – Desember 2015. Interval waktu pengambilan sampel didasarkan pada jenis kacanya, dimana pada kaca *automotive* tipe *laminated* dilakukan pengambilan sampel setiap dua jam sekali dengan sampel sebanyak 10 – 22 kaca .

B. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan adalah cacat pada produk kaca yang terjadi selama proses produksi. Jenis cacat (*defect*) dibedakan menjadi dua, yaitu *primary defect* yang terdiri dari *bubble*, *inclusion*, *drip*, *tin pick up*, serta *other primary defect*, dan *secondary defect* yang terdiri dari *cullet*, *pushmark*, *chipping*, *scratch*, serta *other secondary defect*. Selain itu, *defect* juga dibedakan

berdasarkan tingkat keparahan cacat, yaitu *standard* dan *unstandard defect*. Tabel 3. menunjukkan struktur data pada inspeksi kaca di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo.

TABEL 3. STRUKTUR DATA INSPEKSI KACA

Sub grup	Kategori Cacat											
	Standard Defect						Unstandard Defect					
	Primary			Secondary			Primary			Secondary		
	C1	...	C9	C10	...	C18	C19	...	C23	C24	...	C28
1	X ₁₁	...	X ₁₉	X ₁₁₀	...	X ₁₁₈	X ₁₁₉	...	X ₁₂₃	X ₁₂₄	...	X ₁₂₈
2	X ₂₁	...	X ₂₉	X ₂₁₀	...	X ₂₁₈	X ₂₁₉	...	X ₂₂₃	X ₂₂₄	...	X ₂₂₈
3	X ₃₁	...	X ₃₉	X ₃₁₀	...	X ₃₁₈	X ₃₁₉	...	X ₃₂₃	X ₃₂₄	...	X ₃₂₈
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	X _{i1}	...	X _{i9}	X _{i10}	...	X _{i18}	X _{i19}	...	X _{i23}	X _{i24}	...	X _{i28}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
m	X _{m1}	...	X _{m9}	X _{m10}	...	X _{m18}	X _{m19}	...	X _{m23}	X _{m24}	...	X _{m28}

C. Langkah Analisis

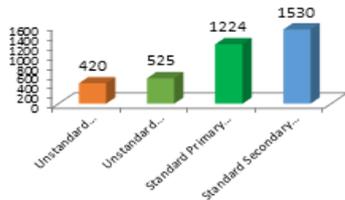
Langkah analisis pada penelitian ini sebagai berikut.

- Mendeskripsikan karakteristik data serta menganalisis jenis cacat dan penyebab cacat dominan.
- Membuat diagram kontrol demerit.
 - Mengidentifikasi data inspeksi cacat kaca menjadi 4 kategori cacat yang telah ditetapkan.
 - Memberikan bobot pada data atribut untuk setiap kategori kelas cacat sesuai dengan tingkat keparahannya menggunakan *crispcore*.
 - Menghitung jumlah cacat terboboti untuk setiap kelas dan setiap subgroup masing-masing menggunakan persamaan (1) dan (2).
 - Menghitung rata-rata cacat per unit pemeriksaan untuk setiap subgroup menggunakan persamaan (3).
 - Menghitung jumlah rata-rata cacat per unit untuk jenis cacat terboboti secara keseluruhan menggunakan persamaan (4).
 - Menghitung UCL dan LCL menggunakan persamaan (5) serta menghitung *warning limit*.
 - Membuat diagram kontrol demerit.
- Membuat diagram kontrol *Fuzzy U*.
 - Mengidentifikasi data inspeksi cacat kaca menjadi 4 kategori cacat yang telah ditetapkan.
 - Menentukan bobot setiap kategori cacat menggunakan *crispcore*.
 - Melakukan transformasi data menjadi *fuzzy number*.
 - Menghitung rata-rata pada setiap kategori cacat *fuzzy* menggunakan persamaan (9).
 - Menghitung CL_{mod} , UCL_{mod} , dan LCL_{mod} menggunakan persamaan (14) sampai (16).
 - Menentukan nilai β dan menghitung nilai β_j menggunakan persamaan (17).
 - Menentukan keputusan kontrol proses dengan menggunakan persamaan (18).
- Membandingkan hasil keputusan yang diperoleh pada diagram kontrol demerit dan *fuzzy u*.
- Melakukan penarikan kesimpulan dan saran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

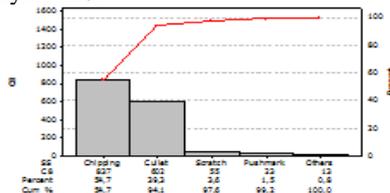
A. Karakteristik Data Kecacatan Automotive Tipe Laminated

Departemen QC Asahimas menetapkan empat jenis cacat kaca berdasarkan tingkat keparahannya, yaitu *unstandard primary*, *unstandard secondary*, *standard primary*, dan *standard secondary defect*. Gambar 3. memberikan informasi mengenai frekuensi cacat yang ditemukan untuk setiap kategori cacat pada Bulan Januari – Desember 2015.



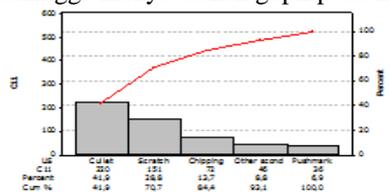
Gambar 3. Perbandingan Frekuensi Cacat Bulan Januari-Desember 2015

Terlihat bahwa *standard secondary defect* merupakan kasus cacat terbanyak yang ditemukan, yaitu sebanyak 1530 cacat. Hal ini disebabkan karena seringkali pada proses *cutting*, kaca pecah saat di *mainline*, selain itu pada proses *pick up* kaca dari meja ke dalam *box*, seringkali kaca tergores. Sedangkan jenis cacat yang paling jarang ditemukan selama proses produksi adalah kategori *unstandard primary defect* dengan jumlah kasus cacat sebanyak 420.



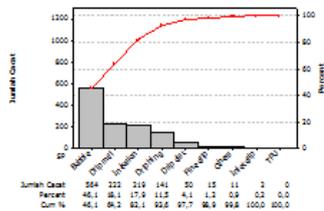
Gambar 4. Diagram Pareto pada Kategori Standard Secondary Defect

Gambar 4. menunjukkan *chipping* merupakan kasus cacat terbanyak pada kategori *standard secondary defect*, yaitu sebanyak 837 kasus dengan persentase jumlah cacat sebesar 54,7%. *Chipping* pada kaca kerap terjadi karena pada saat pemotongan (*cutting*), prosesnya tidak sempurna sehingga menyebabkan gupil pada kaca.



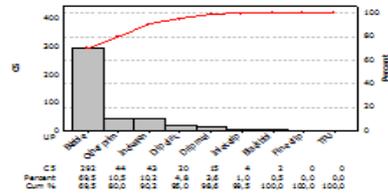
Gambar 5. Diagram Pareto pada Kategori Unstandard Secondary Defect

Pada kategori *unstandard secondary defect*, *cullet* merupakan cacat dengan kasus terbanyak yang ditemukan. Terlihat pada Gambar 5., ditemukan 220 kasus cacat *cullet* yang memiliki persentase jumlah cacat sebesar 41,9%. Penyebab cacat jenis *cullet* sama seperti pada cacat *chipping*, yaitu proses pemotongan yang tidak sempurna.



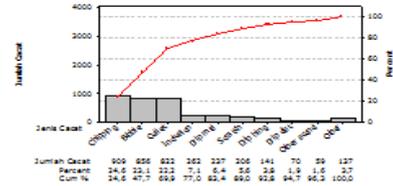
Gambar 6. Diagram Pareto pada Kategori Standard Primary Defect

Gambar 6. menunjukkan bahwa pada kategori *standard primary defect*, *bubble* merupakan kasus cacat yang paling banyak ditemukan, yaitu 564 kasus cacat dengan persentase jumlah cacat sebesar 46,1%. *Bubble* banyak ditemukan dalam produk karena seringkali terjadi pelepasan gas yang tidak sempurna pada saat proses *melting* dan *refining*.



Gambar 7. Diagram Pareto pada Kategori Unstandard Primary Defect

Sama seperti *standard primary defect*, *bubble* juga merupakan kasus cacat terbanyak yang ditemukan pada kategori *unstandard primary defect*. Terlihat pada Gambar 7., ditemukan sebanyak 292 kasus cacat *bubble* dengan persentase jumlah cacat sebesar 69,5%.



Gambar 8. Diagram Pareto pada Produksi Kaca Laminated

Gambar 8. menunjukkan *chipping* adalah jenis cacat yang paling sering ditemukan pada produk kaca *automotive* tipe *laminated*, yaitu sebanyak 909 kasus cacat dan persentase cacat sebesar 24,6%. Jenis cacat yang paling jarang ditemukan diwakili oleh *other*, seperti *inlet drip*, *black bubble*, dan *pushmark* dengan total cacat yang ditemukan sebanyak 137 kasus dan persentase sebesar 3,7%.

B. Pengontrolan Kualitas Kaca Automotive Tipe Laminated Menggunakan Diagram Kontrol Demerit

Diagram kontrol demerit digunakan ketika jenis cacat dikategorikan menjadi beberapa kelas berdasarkan tingkat keparahan cacatnya. Pada penelitian ini nilai *crisp* yang digunakan adalah sebagai berikut.

TABEL 4. CRISPCORE UNTUK SETIAP KELAS CACAT

Kelas Cacat	Skala Keparahan Cacat	Nilai Crisp
A	High	0,885
B	Fairly High	0,700
C	Fair Low	0,300
D	Low	0,115

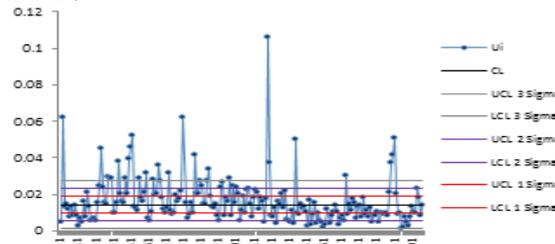
Nilai CL, UCL, dan LCL sesuai persamaan (5) didapatkan:

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = 0,027549$$

$$\text{Control Limit (CL)} = 0,014498$$

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = 0,001445$$

yang selanjutnya nilai-nilai tersebut digunakan untuk membentuk diagram kontrol demerit seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Kontrol Demerit pada Produksi Kaca Laminated

Terdapat 29 titik pengamatan yang dinyatakan *out of control* dari total 207 pengamatan, sedangkan sebanyak 145 pengamatan dinyatakan *in control*. Artinya proses produksi pada 145 pengamatan tersebut tidak ditemukan adanya masalah, sedangkan 29 pengamatan lainnya yang dinyatakan *out of control* mengindikasikan adanya masalah pada proses produksi yang menyebabkan

keberlangsungan produksi tidak terkontrol sehingga banyak ditemukan produk cacat.

Selain pengamatan yang dinyatakan *in control* dan *out of control*, terdapat 33 pengamatan yang berada di daerah *warning limit*, yaitu pengamatan yang berada di antara batas 2 sigma dan 3 sigma. Pengamatan yang masuk ke daerah *warning limit* artinya pengamatan tersebut mendekati daerah *out of control* sehingga perusahaan perlu memberikan perhatian khusus terhadap proses produksi pada pengamatan-pengamatan tersebut sehingga tidak sampai terjadi proses produksi yang *out of control*.

C. Pengontrolan Kualitas Kaca Automotive Tipe Laminated Menggunakan Diagram Kontrol Fuzzy U

Diagram kontrol *fuzzy u* digunakan ketika dalam proses pengontrolan kualitas terdapat kesamaran (*vagueness*) pada produk cacat yang ditemukan. Selanjutnya nilai *crisp* serta bobot yang diterapkan pada setiap kelas cacat untuk diagram kontrol *fuzzy u* sama seperti diagram kontrol demerit. Nilai CL diperoleh dari persamaan (10) sehingga didapatkan:

$$CL = (0,897826 ; 0,887681 ; 0,886957 ; 0,425)$$

dimana pendekatan yang digunakan pada diagram kontrol *fuzzy* ini adalah *fuzzy mode*, sehingga:

$$CL_{mod} = f_{mod}(CL) = (CL_2, CL_3) = (0,887681; 0,886957)$$

sedangkan nilai UCL_{mod} dan LCL_{mod} diperoleh menggunakan persamaan (15) dan (16) sehingga didapatkan:

$$LCL_{mod} = CL_{mod} - 3 \sqrt{\frac{CL_{mod}}{n}} = (0,694465; 0,693819)$$

$$UCL_{mod} = CL_{mod} + 3 \sqrt{\frac{CL_{mod}}{n}} = (1,080897; 1,080094)$$

nilai β selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai β_j yang diperoleh dari persamaan (17). Berdasarkan perbandingan kedua nilai tersebut maka akan diperoleh keputusan kontrol proses seperti yang terlihat pada Tabel 5. berikut.

TABEL 5. HASIL KEPUTUSAN PROSES PADA DIAGRAM KONTROL FUZZY U

Sub grup	A	B	C	D	β_j	Keputusan Proses
1	0	0	0,15	0,115	0	Out of Control
2	0	2,8	1,35	2,415	0	Out of Control
3	0,885	0,35	0,3	1,035	0	Out of Control
4	0	1,05	1,35	0,5175	0,100312	Rather Out of Control
5	1,3275	0	0,9	0,115	0,771628	Rather In Control
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
204	0,4425	1,05	0,45	0,69	1	In Control
205	0,885	1,05	0,75	0,575	1	In Control
206	0,885	0,35	0,45	0	0	Out of Control
207	0,4425	0	1,65	1,5525	0,654602	Rather In Control

Hasil keputusan proses menunjukkan bahwa terdapat pengamatan yang termasuk *in control*, *rather in control*, *rather out of control*, dan *out of control*. Terdeteksi 65 pengamatan yang dinyatakan *in control*, 45 pengamatan dengan keputusan *rather in control*, 24 pengamatan dinyatakan *rather out of control*, dan sisanya sebanyak 73 pengamatan dinyatakan *out of control*.

Proses yang termasuk ke dalam *rather in control* dan *rather out of control* merupakan suatu peringatan bagi perusahaan bahwa pada proses produksinya ditemukan proses yang mulai menjauhi proses produksi yang terkendali sehingga perlu dilakukan evaluasi dan perbaikan proses produksi. Sedangkan proses *out of control* mengindikasikan adanya masalah pada proses produksi yang berlangsung sehingga berdampak pada

banyak ditemukannya produk cacat yang tidak dapat ditoleransi menurut tingkat keparahannya.

D. Perbandingan Pengontrolan Kualits Menggunakan Diagram Kontrol Demerit & Diagram Kontrol Fuzzy U

Perbandingan pengontrolan kualitas oleh diagram kontrol demerit dan *fuzzy u* dapat dilihat dari berapa banyak titik pengamatan yang dinyatakan *out of control*. Tabel 6. berikut memberikan informasi mengenai perbandingan titik yang *out of control* oleh kedua diagram.

TABEL 6. PERBANDINGAN KEPUTUSAN DIAGRAM KONTROL DEMERIT & FUZZY U

Sub grup	Demerit	Fuzzy U	Sub grup	Demerit	Fuzzy U
1	Warning Limit	Out of Control	58	Out of Control	Rather Out of Control
2	Out of Control	Out of Control	63	Out of Control	Out of Control
3	In Control	Out of Control	65	In Control	Out of Control
8	In Control	Out of Control	71	Out of Control	Rather In Control
10	In Control	Out of Control	72	In Control	Out of Control
11	Warning Limit	Out of Control	73	In Control	Out of Control
12	In Control	Out of Control	77	Out of Control	Out of Control
13	Warning Limit	Out of Control	80	Out of Control	In Control
14	In Control	Out of Control	81	Warning Limit	Out of Control
15	In Control	Out of Control	82	In Control	Out of Control
18	Warning Limit	Out of Control	85	Out of Control	Out of Control
20	In Control	Out of Control	90	In Control	Out of Control
21	In Control	Out of Control	91	In Control	Out of Control
23	Warning Limit	Out of Control	96	In Control	Out of Control
24	Out of Control	Out of Control	97	Out of Control	In Control
28	Out of Control	In Control	103	Warning Limit	Out of Control
29	Out of Control	In Control	106	In Control	Out of Control
30	Out of Control	Rather In Control	111	In Control	Out of Control
31	In Control	Out of Control	113	In Control	Out of Control
32	In Control	Out of Control	114	In Control	Out of Control
34	Out of Control	Out of Control	115	In Control	Out of Control
38	Out of Control	Out of Control	116	In Control	Out of Control
40	Out of Control	In Control	119	Out of Control	Out of Control
41	Out of Control	Out of Control	120	Out of Control	In Control
42	Out of Control	Rather Out of Control	121	In Control	Out of Control
45	In Control	Out of Control	125	In Control	Out of Control
46	Out of Control	Rather In Control	128	In Control	Out of Control
50	Out of Control	Rather Out of Control	129	In Control	Out of Control
52	Warning Limit	Out of Control	130	In Control	Out of Control
53	In Control	Out of Control	131	In Control	Out of Control
54	Out of Control	Rather Out of Control	132	Warning Limit	Out of Control
57	Out of Control	Out of Control	135	Out of Control	Out of Control
137	In Control	Out of Control	172	In Control	Out of Control
140	In Control	Out of Control	181	In Control	Out of Control
142	Warning Limit	Out of Control	186	In Control	Out of Control
144	Warning Limit	Out of Control	188	In Control	Out of Control
147	Warning Limit	Out of Control	189	Out of Control	In Control
156	In Control	Out of Control	190	Out of Control	In Control

Sub grup	Demerit	Fuzzy U	Sub grup	Demerit	Fuzzy U
157	In Control	Out of Control	191	Out of Control	Rather Out of Control
158	In Control	Out of Control	192	In Control	Out of Control
159	Warning Limit	Out of Control	195	Out of Control	Out of Control
160	In Control	Out of Control	196	Warning Limit	Out of Control
161	In Control	Out of Control	200	In Control	Out of Control
163	Out of Control	In Control	203	In Control	Out of Control
166	In Control	Out of Control	206	In Control	Out of Control

Pada Tabel 6. terdapat 11 titik pengamatan yang sama-sama terdeteksi *out of control* di kedua diagram. Selain itu, terdapat 62 titik pengamatan yang hanya terdeteksi *out of control* pada diagram kontrol *fuzzy u*. Hal ini menunjukkan bahwa diagram *fuzzy u* lebih sensitif mendeteksi proses yang *out of control* pada ke-62 pengamatan tersebut dibanding diagram kontrol demerit. Disamping itu, terdapat 8 titik pengamatan yang hanya terdeteksi *out of control* pada diagram kontrol demerit, sedangkan pada diagram kontrol *fuzzy u* ke-8 pengamatan tersebut dideteksi *rather in control* atau *rather out of control*. Terdapat 9 pengamatan yang dinyatakan *out of control* di diagram kontrol demerit, namun terdeteksi *in control* di diagram kontrol *fuzzy u*.

Tabel 6. menunjukkan bahwa diagram kontrol *fuzzy u* lebih sensitif jika dibandingkan dengan diagram kontrol demerit pada perbandingan pengendalian kualitas untuk produksi kaca. Hal ini ditunjukkan oleh banyaknya titik pengamatan yang *out of control*, dimana diagram kontrol *fuzzy u* menangkap lebih banyak titik tersebut, yaitu sebanyak 73 titik *out of control*. Hal ini juga berarti bahwa diagram kontrol *fuzzy u* lebih peka dalam mendeteksi adanya masalah dalam proses produksi yang membuat proses tersebut menjadi tidak terkontrol dan dapat berdampak pada kecacatan produk.

Selain menggunakan banyak titik yang *out of control*, perbandingan diagram kontrol demerit dan *fuzzy u* juga dapat dilihat dari kriteria keputusan proses kedua diagram. Pada diagram kontrol demerit, keputusan proses yang dihasilkan hanya berupa *in control* dan *out of control* sedangkan pada diagram kontrol *fuzzy u* digunakan kriteria keputusan proses yang lebih spesifik, yaitu *in control*, *rather in control*, *rather out of control*, dan *out of control*. Keputusan proses seperti *rather in control* dan *rather out of control* pada diagram kontrol *fuzzy u* dapat menjadi *early warning* bagi perusahaan untuk melakukan perbaikan proses.

Pengendalian kualitas yang sesuai untuk diterapkan pada proses produksi di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. Sidoarjo adalah menggunakan diagram kontrol *fuzzy u*. Secara umum proses produksi di Asahimas pada Bulan Januari hingga Desember 2015 dikatakan masih *out of control*, karena dari 207 pengamatan ditemukan 73 pengamatan yang dinyatakan *out of control*. Artinya, terdapat masalah pada proses produksi pada ke-73 pengamatan tersebut yang menyebabkan banyak ditemukan produk cacat sehingga perlu dilakukan perbaikan pada proses produksinya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan diperoleh kesimpulan bahwa ditemukan sebanyak 3699 kasus cacat selama Bulan Januari – Desember 2015, dimana diantara

keempat kategori cacat yang ada, kategori *standard secondary defect* merupakan kasus cacat yang paling banyak ditemukan, yaitu sebanyak 1530 cacat. Sedangkan jenis cacat yang paling banyak ditemukan adalah *chipping*, yaitu sebanyak 909 kasus cacat. Selain itu, pada pengendalian kualitas menggunakan diagram kontrol demerit, terdeteksi 145 titik pengamatan *in control*, 33 pengamatan berada di daerah *warning limit*, dan 29 pengamatan *out of control*. Sedangkan pada diagram kontrol *fuzzy u*, terdeteksi 65 pengamatan *in control*, 45 pengamatan *rather in control*, 24 pengamatan *rather out of control*, dan 73 pengamatan *out of control*. Jika dibandingkan berdasarkan banyak titik yang *out of control*, diagram kontrol *fuzzy u* lebih sensitif dibandingkan demerit, hal ini ditunjukkan oleh banyaknya titik pengamatan yang *out of control*, dimana diagram kontrol *fuzzy u* menangkap lebih banyak titik tersebut, yaitu sebanyak 73 titik pengamatan.

Saran yang dapat diberikan bagi perusahaan adalah meningkatkan stabilitas proses produksi, terutama pada proses peleburan (*melting*) dan pemotongan (*cutting*) perlu dilakukan pengawasan dan perawatan mesin secara berkala untuk menghindari kecacatan kaca berlebih yang dapat menyebabkan proses menjadi *out of control*. Sedangkan saran untuk penelitian selanjutnya adalah perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui penyebab inkonsistensi keputusan proses pada diagram *fuzzy u*, selain itu, perbandingan kinerja diagram kontrol dapat menggunakan metode ARL (*Average Run Length*) sebagai salah satu pendekatan secara empiris.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kemenperin, "Kementerian Perindustrian Republik Indonesia," 2015. [Online]. Available: <http://www.kemenperin.go.id/artikel/6276/Industri-Manufaktur-Indonesia-Mulai-Menggeliat>. [Diakses 6 January 2016].
- [2] Kemendag, "Kementerian Perdagangan Republik Indonesia," 2015. [Online]. Available: <http://www.kemendag.go.id/id/economic-profile/indonesia-export-import/growth-of-non-oil-and-gas-export-commodity>. [Diakses 6 January 2016].
- [3] M. Gulbay dan C. Kahraman, "An Alternative Approach to Fuzzy Control Cgarts: Direct Fuzzy Approach," *Information Sciences*, pp. 1463-1480, 2006 & 2007.
- [4] I. Sugihartanti, Study Direct Fuzzy Approach (DFA) pada Diagram Kontrol Fuzzy dan Penerapannya pada Pengendalian Kualitas Produksi Botol Sting (240 ml) di PT. Iglas, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.
- [5] A. H. Ahlisa, Penerapan Diagram Kontrol Fuzzy U pada Pengendalian Kualitas Coating Thickness di PT. Indal Steel Pipe, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [6] G. S. Ramadhani, Yuciana dan Suparti, "Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Diagram Kendali Demerit (Studi Kasus Produksi Air Minum dalam Kemasan 240 ml di PT TIW)," *Jurnal Gaussian*, vol. III, no. 3, pp. 401-410, 2014.
- [7] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, 5th penyunt., Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, 2009.
- [8] S. Kusumadewi, S. Hartati, A. Harjoko dan R. Wardoyo, Fuzzy Multi-Attribute Decision Making (Fuzzy MADM), Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [9] S. A. Darestani, A. M. Tadi, S. Taheri dan M. Raeiszadeh, "Development of Fuzzy U Control Chart for Monitoring Defects," *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 31, no. 7, pp. 811-821, 2014.
- [10] L. I. Tong dan C. T. Su, "Optimizing Multi-Response Problems in The Taguchi Method by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making," *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 13, pp. 25-34, 1997.
- [11] D. H. Besterfield, Quality Control with Student CD 8th International Edition, New Jersey: Pearson Education, 2009.