

PENINGKATAN KUALITAS PROSES PENGOLAHAN LARUTAN PEMBERSIH DAUR ULANG DENGAN METODE *DESIGN OF EXPERIMENTS* (DOE) (STUDI KASUS PT.XY)

Ir. Isti Surjandari, MT, MA, Ph.D¹, Ir. Erlinda Muslim, MEE²,
Ririn Mulyani³

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,
Kampus Baru UI, Depok – 16424, Indonesia

Email : surjandari.2@osu.edu¹, erlinda@eng.ui.ac.id²,
ririnmulyani@yahoo.com³

Abstrak

PT. XY selaku perusahaan negara yang diberi tanggung jawab untuk mencetak dokumen negara, dituntut untuk memiliki kinerja bisnis yang baik, sesuai dengan visi yang hendak dicapai yaitu menjadi perusahaan percetakan kelas dunia. Salah satu bagian proses didalam menghasilkan produk cetakannya adalah unit pengolahan larutan pembersih daur ulang yang bertugas menyediakan larutan pembersih untuk membersihkan sisa tinta pada proses pencetakan dokumen.

Metode yang digunakan untuk mengukur dan meningkatkan kinerja proses adalah dengan metodologi DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*) Six Sigma dimana pada fase *improve* (peningkatan) dilakukan dengan metode *Design of Experiments* (DOE), yaitu metode ilmiah untuk mengidentifikasi parameter kritis pada proses dan selanjutnya menentukan setting optimal pada parameter proses tersebut.

Penelitian ini menggunakan metode DOE pada proses pengolahan larutan pembersih daur ulang, yaitu penelitian parameter kunci yang mempengaruhi cetakan dengan kualitas baik, yaitu pada faktor kadar soda dan kadar SCONya. Analisis statistik digunakan untuk mengidentifikasi parameter proses yang mempengaruhi jumlah cetakan baik yang dapat dihasilkan. Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan masukan pada perusahaan untuk mengaplikasikan metode DOE pada proses-proses inti lainnya dalam rangka peningkatan kinerja bisnisnya.

Kata kunci :

Kinerja, *Six Sigma*, DMAIC, *Design Of Experiments* (DOE)

Abstract

PT. XY is a nation banknote printers and coin minting company, must has a good business performance, which appropriate with its vision : to be world class security printing company. As a part of security printing production process, the recycling cleaner solution process has a responsibility to supply a cleaner solution to clean the excess of inks in printing process.

The DMAIC (*define, measure, analyze, improve, control*) Six Sigma methodology is used to measure and improve process performance and for *improve* phase, the author used *Design of Experiments* (DOE) method. DOE is a scientific method for identifying the critical parameters associated with a process and thereby determining the optimal settings for these process parameter.

This research use the method of DOE in recycling cleaner solution process which soda and SCO concentration are affect the good prints. Statistical analysis was carried out to identify the process parameters, which affect the good prints quantity. The results of the study encouraged the company to application of DOE to other core processes to improve their business performance.

Keywords :

Performance, Six Sigma, DMAIC, Design Of Experiments

1. Pendahuluan

Globalisasi dan perdagangan bebas yang berlangsung saat ini membuat pergeseran paradigma bisnis percetakan sekuriti untuk lebih meningkatkan kemampuannya dalam menghadapi era persaingan pasar yang semakin ketat. Dalam dinamisasi pergerakan politik dalam negeri, bukan suatu hal yang mustahil jika hak monopoli PT XY sebagai satu-satunya perusahaan BUMN yang diberi kewenangan untuk melakukan pencetakan produk cetakan dokumen sekuriti milik pemerintah, akan terancam eksistensinya dengan tumbuhnya perusahaan-perusahaan lain yang bergerak dibidang sejenis.

Dalam penggunaannya, produk cetakan harus mempunyai nilai unsur pengaman yang tinggi untuk menghindari pemalsuan dan kerugian yang lebih luas lagi. Salah satu yang paling bernilai tinggi dan mudah dikenali oleh masyarakat luas adalah adanya efek raba pada cetakan. Proses pencetakannya menggunakan suatu larutan yang berfungsi untuk membersihkan sisa tinta yang masih tertinggal diatas permukaan pelat cetak.

Proses pencetakan tersebut merupakan komponen biaya terbesar pada cetakan karena tingginya nilai dan konsumsi tinta dibandingkan tinta-tinta cetak lainnya. Atas dasar efisiensi larutan pembersih tidak digunakan sekali pakai (*one-time used*) tetapi dengan melalui proses pengolahan dan koreksi, larutan tersebut dapat digunakan kembali secara berulang-ulang (*recycling/reuse*) dalam proses pencetakannya.

Penggunaan larutan daur ulang ini kemungkinan membawa dampak pada:

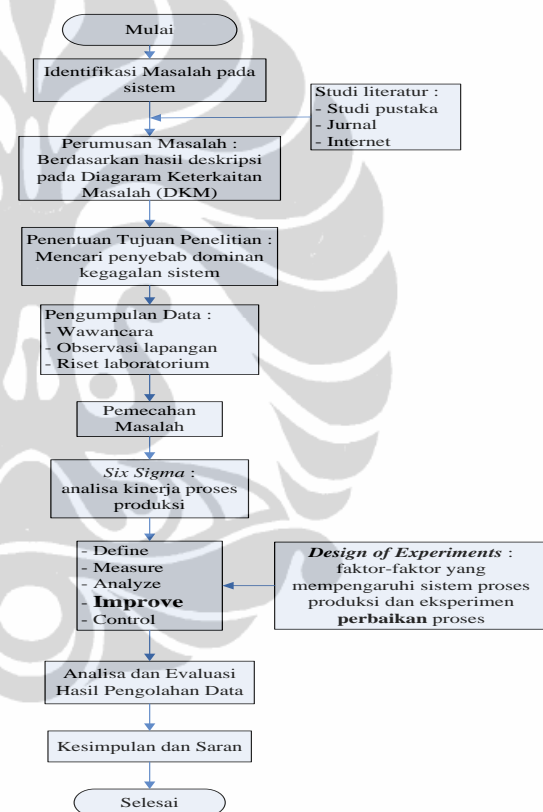
- Kecenderungan peningkatan cacat cetakan.
- Keluhan pelanggan terhadap kualitas cetakan.
- Meningkatnya biaya operasional dan material, akibat : berhentinya mesin, proses pembersihan, *setting* ulang mesin cetak, *insheet* yang tinggi dari bahan kertas, tinta cetak dan bahan-bahan yang digunakan pada unit pengolahan larutan pembersih daur ulang.
- Tidak tercapainya target produksi.

Penelitian akan menyampaikan studi pengaruh penggunaan larutan pembersih daur ulang yang digunakan didalam proses produksi terhadap kualitas akhir dari produk cetakan. Penelitian mencakup analisa faktor-faktor

kunci yang mempengaruhi kualitas larutan pembersih didalam pengolahannya serta menguji faktor-faktor tersebut di dalam sebuah eksperimen dengan metodologi *Design of Experiment* (DOE), termasuk pendekatan *Six Sigma* untuk menganalisa kinerja proses unit pengolahan larutan pembersih daur ulang.

2. Metode Penelitian

Metodologi penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang diawali dengan menentukan pokok permasalahan sampai dengan mengambil kesimpulan. Adapun tahapan tersebut dapat dilihat pada diagram berikut ini :



Gambar 1. Diagram Alir Pemecahan Masalah

3. Studi Kasus

Pada bagian ini mengupas tentang proses pengolahan limbah cair cetak yaitu : proses daur ulang limbah cair dari mesin cetak dengan memisahkan antara limbah padat dan cair melalui cara pengolahan dengan bahan kimia tertentu dan menetralsisir limbah cair tersebut sehingga memenuhi standar baku mutu yang dibutuhkan.

Di dalam proses produksi pencetakan di mesin cetak, dibutuhkan suatu larutan pembersih yang berfungsi untuk membersihkan sisa tinta yang tidak dibutuhkan sehingga diharapkan cetakan yang dihasilkan bersih dan berkualitas baik.

Proses cetak timbul yang merupakan komponen biaya terbesar dalam produksi cetakan, memerlukan suatu pelat yang berfungsi untuk menampung tinta sebelum dipindahkan ke atas bahan cetak. Pelat ini mempunyai karakteristik yang unik dan berbeda dengan proses lainnya, dimana bagian yang menampung tinta berbentuk gravur dengan kedalaman tertentu.

3.1 Proses Cetak

Pada proses pencetakan, sisa tinta yang terdapat dibagian yang tidak dikehendaki harus dibersihkan terlebih dahulu dengan larutan pembersih sebelum berpindah keatas bahan cetak. Tujuan dari proses pembersihan ini agar kualitas cetakan yang dihasilkan dapat bersih, bebas dari kotoran.

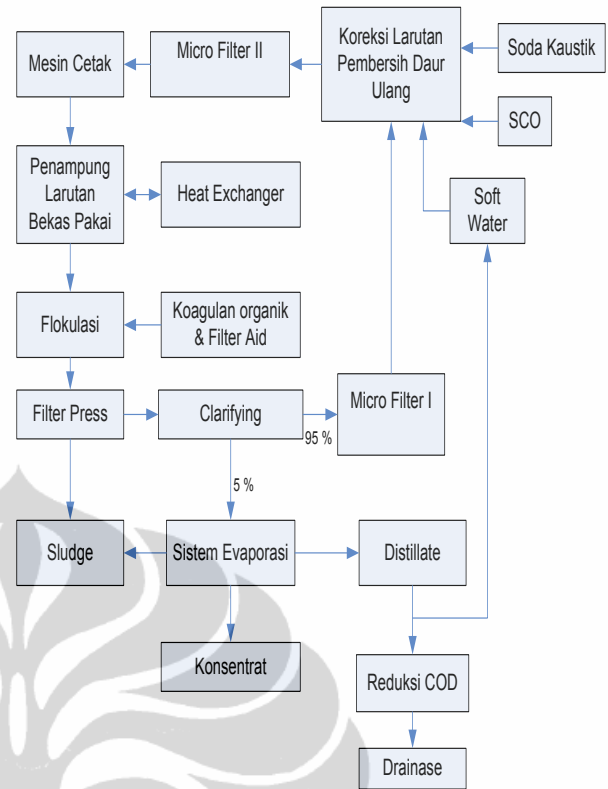
Secara singkat, proses cetak yang terjadi dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Tinta pada pelat cetak yang berasal dari rol tinta, disapu dengan rol penyapu (*wiping cylinder*) yang mengandung larutan pembersih (*wiping solution*).
- Dengan bantuan rol tekan (*impression cylinder*) tinta yang terdapat pada pelat cetak dapat dipindahkan ke atas permukaan bahan cetak.

3.2 Proses Daur Ulang Larutan Pembersih

PT XY mempunyai jumlah mesin cetak sebanyak 12 (dua belas) buah dan rata-rata kebutuhan larutan pembersih untuk tiap mesin sekitar 10.000 liter/jam. Dengan konsumsi total 120.000 liter/jam larutan pembersih, dapat dibayangkan perusahaan akan mengalami pemborosan dalam pengadaan material untuk membuat larutan pembersih tersebut. Dalam rangka efisiensi produksi, maka pengolahan larutan pembersih tersebut dibuat secara daur ulang/*closed loop* dengan asumsi 95 % larutan bekas dapat digunakan kembali.

Proses daur ulang larutan pembersih dapat dilihat pada skema proses disebelah ini :



Gambar 2. Skema Proses Daur Ulang Larutan Pembersih

Penulis melakukan uji *Design of Experiments* (DOE) guna meneliti pengaruh perubahan variabel kadar soda kaustik dan kadar SCO terhadap kelancaran proses produksi cetak.

Larutan pembersih, baik yang baru dibuat (*fresh*) maupun daur ulang harus mempunyai komposisi yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, yaitu :

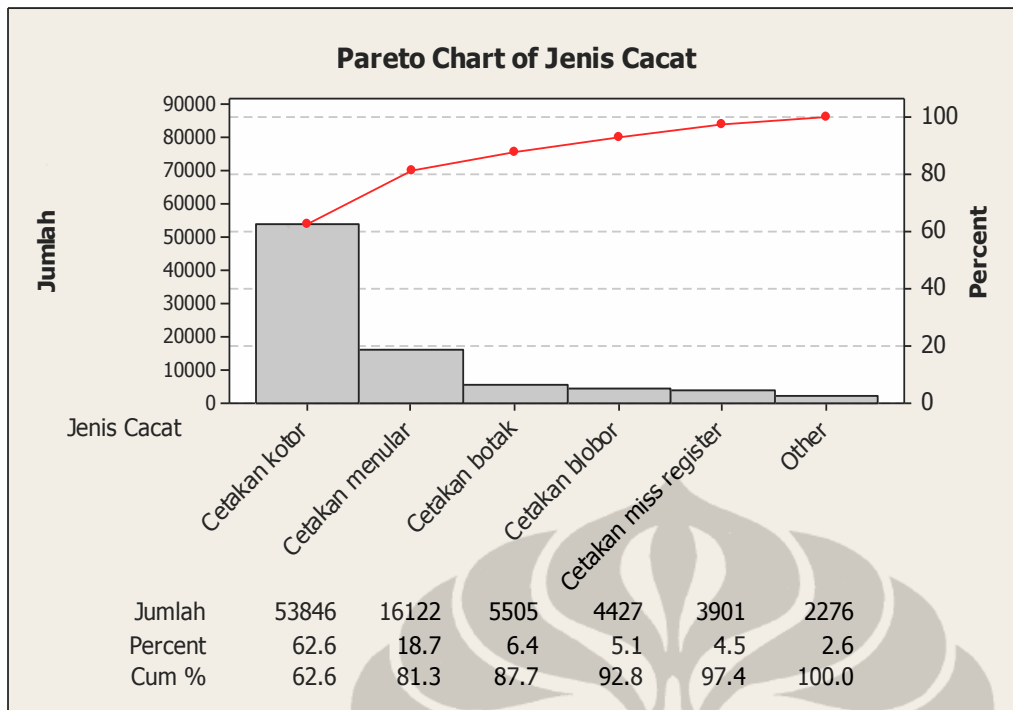
- Soda kaustik : 0,65 – 0,95 %
- Deterjen SCO : 0,4 – 0,6 %
- *Soft water* : selebihnya hingga genap 100 %

4. Pengolahan Data

4.1 Metodologi Six Sigma

4.1.1 Merumuskan (*define*)

Masalah kualitas produk pada cetakan umumnya dapat dikategorikan ke dalam enam jenis, yaitu : cetakan kotor, blobor, botak, tipis, menular (*offsetting*) dan *missregister*.



Gambar 3. Diagram Pareto jenis cacat cetak

Hasil yang disajikan dari diagram Pareto dapat dilihat bahwa 62,6 % cacat cetak disebabkan oleh cetakan kotor.

4.1.2. Mengukur (*measure*)

Fase mengukur tingkat kinerja proses saat ini yang mempengaruhi CTQ. Kemampuan proses dapat diukur dengan nilai sigma dan analisis kapabilitas proses.

4.1.2.1 Perhitungan nilai sigma

Perhitungan nilai sigma adalah untuk mengukur kinerja keseluruhan proses produksi dan didasarkan atas jumlah cetakan yang diproduksi dan jumlah cacat cetakan dalam satu tahun terakhir. Perhitungan ini menggunakan perhitungan *Six Sigma Motorola* dengan nilai pergeseran sebesar 1,5 sigma.

Berdasarkan data dari seksi perencanaan dan pengendalian produksi, diperoleh hasil rekapitulasi produksi selama 1 tahun terakhir yaitu tahun 2007 sebagai berikut :

- Jumlah cacat cetakan :
35.639.200 lembar
- Jumlah produksi cetakan : 1.288.701.650 lembar

Apabila data tersebut diatas dimasukkan kedalam rumus :

$$DPMO = \frac{\text{total cacat} \times 1000000}{\text{total unit} \times \text{opportunity}}$$

$$DPMO = \frac{35.639.200 \times 1000000}{1.288.701.650 \times 1} = 27.655,12 \approx 27.655$$

Hasil DPMO diatas kemudian dikonversikan dengan menggunakan tabel konversi nilai sigma Motorola, dengan hasil sebagai berikut :

$$\text{Nilai DPMO } 27.655 = 3,4165 \approx 3,42$$

Berdasarkan tabel kategori nilai sigma, maka departemen produksi berada dalam kategori rata-rata industri dengan jumlah biaya kualitas yang cukup besar, yaitu 25-40 % dari penjualan.

4.1.2.2 Perhitungan kapabilitas proses

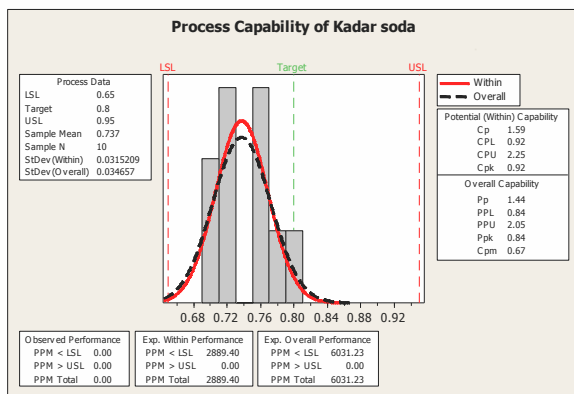
Perhitungan ini untuk mengukur seberapa besar kemampuan proses pengolahan daur ulang larutan pembersih terhadap spesifikasinya, dalam hal ini pengukuran proses koreksi kadar soda kaustik dan deterjen SCO yang berpengaruh langsung terhadap efek cetakan kotor.

Dari hasil pengukuran kadar soda dan SCO dari mulai awal Januari 2008 sampai dengan akhir Maret 2008, didapat data sebagai berikut :

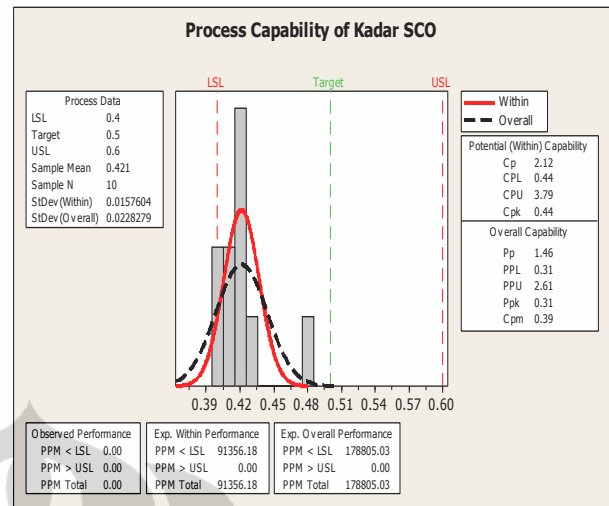
Tabel 1. Hasil Pengukuran Kadar Soda dan SCO Periode Januari-Maret 2008

Tanggal Pemeriksaan (2008)	Kadar Soda (%)	Kadar SCO (%)
3 Januari	0,75	0,48
14 Januari	0,80	0,42
6 Pebruari	0,72	0,42
14 Pebruari	0,70	0,40
21 Pebruari	0,75	0,42
28 Pebruari	0,78	0,43
6 Maret	0,75	0,41
13 Maret	0,71	0,41
19 Maret	0,70	0,40
26 Maret	0,71	0,42

Dari data diatas, perhitungan kapabilitas proses penambahan /koreksian kadar soda dan kadar SCO dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* Minitab 15. Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4. Kapabilitas proses dari koreksian kadar soda



Gambar 5. Kapabilitas proses dari koreksian kadar SCO

Perhitungan indeks kapabilitas proses koreksian kadar soda memberikan hasil nilai Cpm sebesar 0,67 dan nilai Cpk sebesar 0,92, sedangkan nilai indeks kapabilitas proses koreksian kadar SCO memberikan hasil nilai Cpm sebesar 0,39 dan nilai Cpk sebesar 0,44.

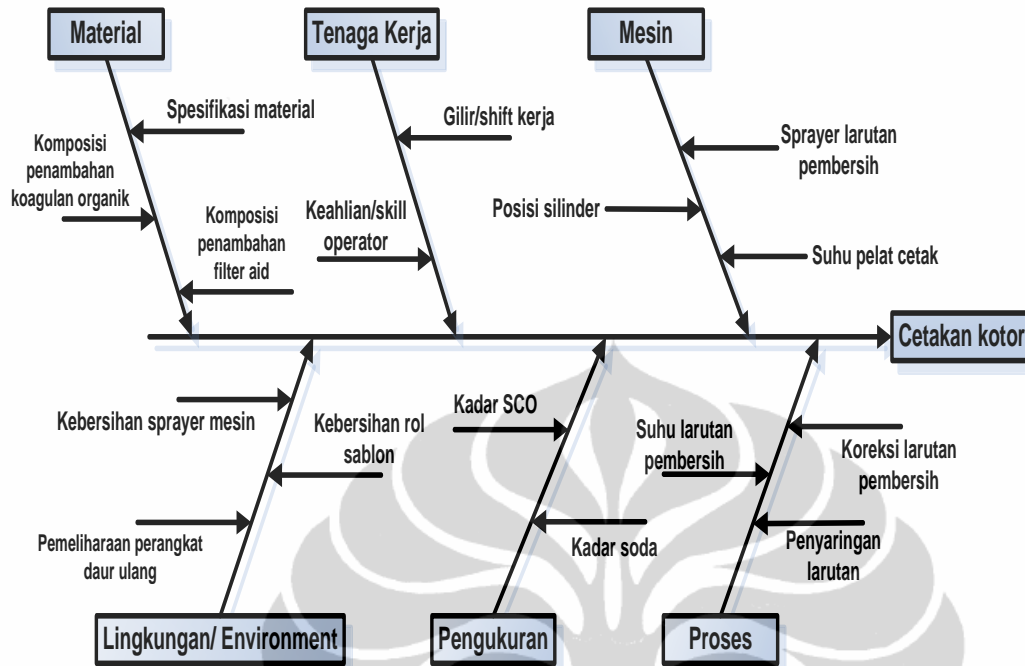
Nilai indeks kapabilitas proses Cpm dan Cpk yang lebih kecil dari 1,33, menunjukkan kemampuan proses operasi penambahan/koreksian kadar soda dan kadar SCO dalam larutan pembersih berada dalam batas target kualitas yang masih rendah.

4.1.3 Analisis (*analyze*)

Tahap analisis adalah mencari dan menentukan akar sebab dari suatu masalah. Fokus pada fase ini adalah pada pertanyaan mengapa cacat cetakan kotor yang berlebihan terjadi. Dengan kata lain, pengolahan data pada tahap ini ditujukan untuk mencari dan menganalisis kemungkinan-kemungkinan perbaikan dengan data yang didapat.

Identifikasi seluruh penyebab (*causes*) potensial cetakan kotor dapat terjadi akibat variasi yang bersumber dari *man* (sumber daya manusia), *machine* (mesin), *measure* (pengukuran), *material* (material), *method* (proses) / 5M ditambah *environment* (lingkungan) / 1E.

Diagram *Cause & Effect* yang mengidentifikasi penyebab-penyebab potensial cacat cetakan kotor dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 6. Diagram *Cause & Effect* Cetakan Kotor

4.1.4 Meningkatkan (*improve*)

Setelah akar permasalahan didapat dari hasil diagram *cause & effect* maka fase selanjutnya adalah menentukan variasi penyebab yang dominan terhadap perbaikan cacat cetakan kotor. Dalam hal ini penulis menetapkan penyebab *measure* dengan melibatkan uji *Design of Experiment* (DOE), yaitu suatu uji dengan mengubah-ubah variabel-variabel faktor, yaitu kadar soda kaustik dan kadar SCO sehingga penyebab perubahan pada variabel respon dapat diketahui.

Eksperimen dilakukan hanya pada 1 jenis mesin dengan kecepatan 6000 lembar/jam. Desain model eksperimen yang dipilih oleh penulis adalah desain faktorial (2^2) dengan :

- 2 faktor, yaitu : kadar soda kaustik dan kadar SCO ,
- 2 level ; kadar soda : 0,70 % dan 1 % serta kadar SCO : 0,4 % dan 0,8 %.
- Replikasi 2 kali
- Karakteristik kualitasnya adalah kapasitas mesin cetak dalam menghasilkan cetakan yang baik dan dinyatakan dalam jumlah lembar cetakan/jam.

Dari penelitian dan eksperimen yang dilakukan di unit pengolahan daur ulang larutan pembersih, departemen laboratorium dan unit produksi cetak, didapat data sebagai berikut :

Tabel 2. Eksperimen 2^2 Faktor Faktorial Desain

SCO (%)	Soda (%)			
	0,7		1	
0,4	2100 lbr/jam	2300 lbr/jam	4000 lbr/jam	3800 lbr/jam
0,8	4900 lbr/jam	4800 lbr/jam	6000 lbr/jam	5900 lbr/jam

Analysis of Variance for Cetakan Baik, using Adjusted SS for Tests

Source	F	P
Kadar SCO	883.60	0.000
Kadar Soda	313.60	0.000
Kadar SCO*Kadar Soda	14.40	0.019

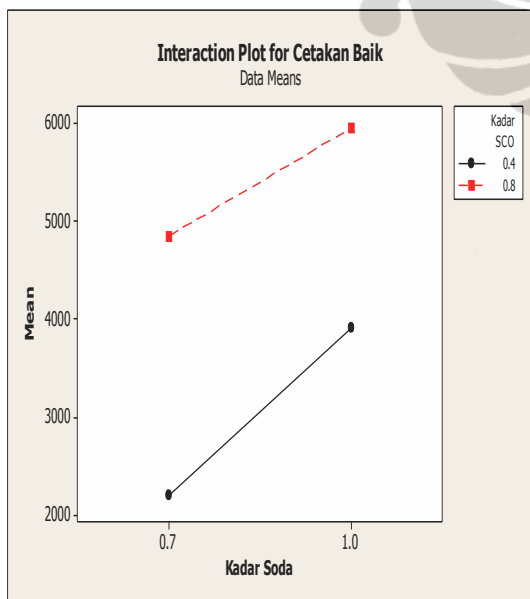
Dari hasil *Analysis of Variance* didapat hasil F hitung lebih besar dari F tabel (lihat tabel distribusi F), dimana :

- F hitung kadar SCO > F tabel
883,60 > 7,71
- F hitung kadar soda > F tabel
313,60 > 7,71
- F hitung interaksi kadar SCO*soda > F tabel
14,40 > 7,71

Hal ini menunjukkan bahwa faktor-faktor kadar SCO, kadar soda serta interaksi kadar SCO dan soda semuanya menunjukkan signifikansi. Analisa juga dapat dilihat dari besaran *p valuenya* , dimana faktor dengan *p value* yang lebih kecil dari koefisien signifikansi 0,05 menunjukkan signifikansinya.

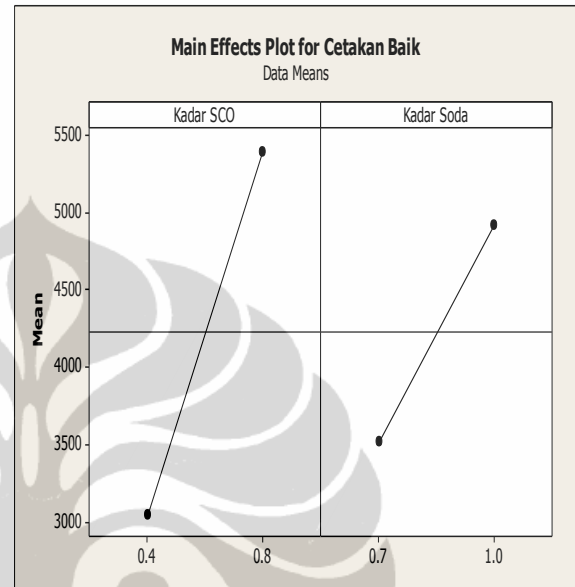
- *p value* kadar SCO < level signifikansi 5 %
0,000 < 0,05
- *p value* kadar soda < level signifikansi 5 %
0,000 < 0,05
- *p value* kadar SCO*soda < level signifikansi 5 %
0,019 < 0,05

Ketiga sumber tersebut sama-sama mempunyai efek yang signifikan terhadap respon cetakan baik.



Gambar 7. Grafik *Interaction Plot* CetakanBaik

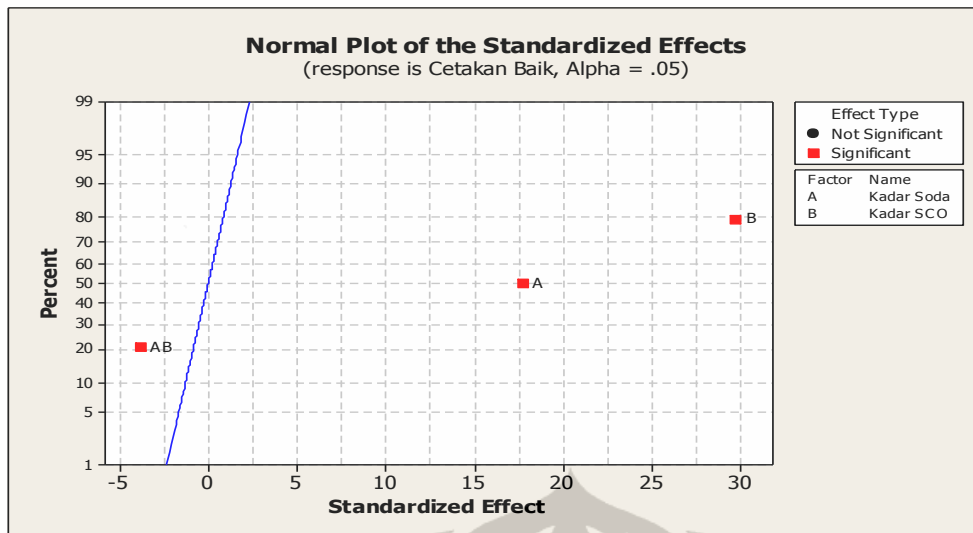
Dari grafik *Interaction Plot* dapat di lihat bahwa garis yang terbentuk tidak paralel sehingga apabila kedua garis tersebut diteruskan akan berpotongan. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara faktor kadar kaustik soda dengan faktor kadar SCO.



Gambar 8. Grafik *Main Effects Plot* Cetakan Baik

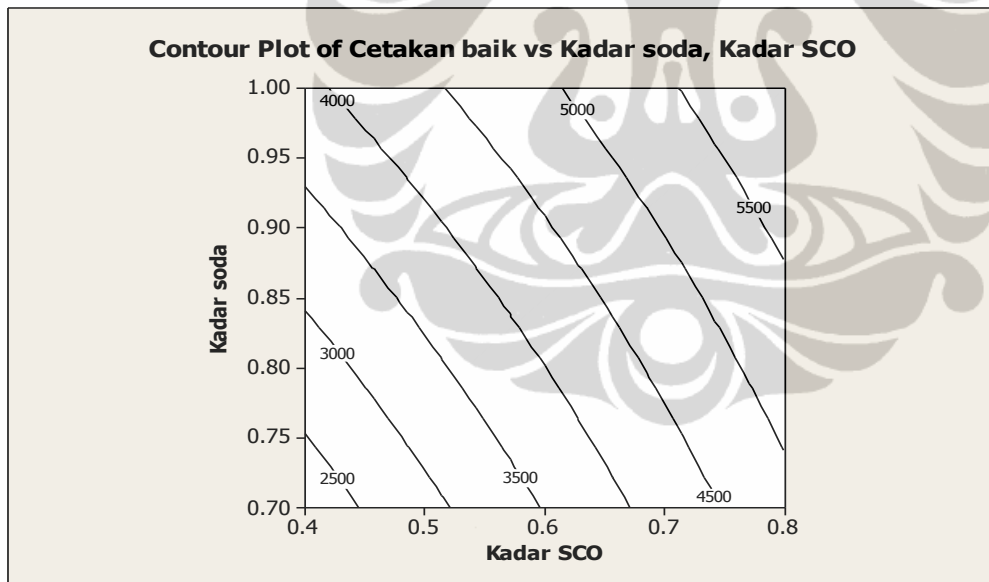
Grafik diatas menunjukkan bahwa kadar SCO 0,4 % hanya dapat menghasilkan cetakan baik sebanyak 3000 lembar/jam, sedangkan kadar SCO 0,8 % dapat menghasilkan jumlah cetakan baik mendekati 5500 lembar cetakan/jamnya. Pada kadar soda 0,7 % dapat menghasilkan 3500 lembar cetakan baik/jam, sedangkan dengan kadar 1,0 % cetakan baik dapat dihasilkan sebanyak 5000 lembar/jam.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa cetakan yang baik dapat dihasilkan dengan konsentrasi kadar SCO sebesar 0,8 % dan kadar soda sebesar 1 %.



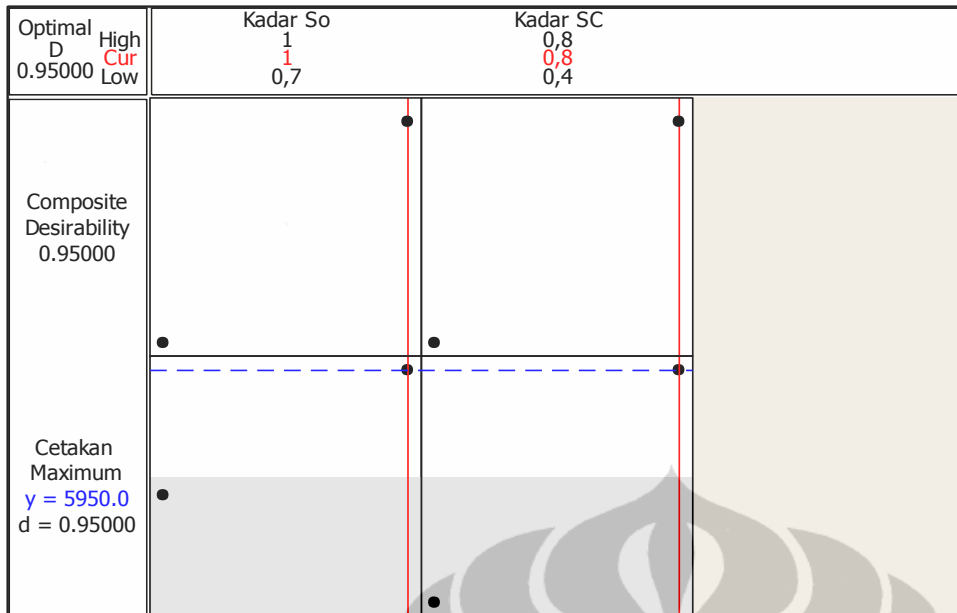
Gambar 9. Grafik Normal Plot

Grafik normal plot diatas mengilustrasikan bahwa secara statistik faktor kadar SCO mempunyai persen sigifikansi terbesar, yaitu 80 % dibandingkan dengan kadar soda yang hanya sebesar 50 % sedangkan persen signifikansi terkecil pada interaksi kadar SCO dan kadar soda, yaitu sebesar 20 %.



Gambar 10. Grafik Contour Plot

Grafik *contour* berguna untuk memberikan gambaran tentang hubungan jumlah produksi cetakan baik dengan faktor kadar SCO dan kadar soda dalam larutan pembersih. Sebagai contoh, bila departemen produksi menghendaki produksi cetakan baik sebesar lebih dari 5500 lembar/jamnya, maka unit pengolahan larutan pembersih daur ulang dapat mengatur kadar SCO sebesar 0,8 % dan kadar soda sebesar 0,95 % dalam larutan pembersih yang akan digunakan oleh unit produksi cetak.



Gambar 11. Grafik *Optimization Plot*

Dari grafik optimalisasi diatas, menunjukkan bahwa jika cetakan baik maksimum yang diharapkan adalah 5950 lembar/jam, maka setting optimal pada proses daur ulang larutan pembersih untuk mencapai jumlah tersebut adalah kadar soda : 1 % dan kadar SCO : 0,8 %.

4.1.5 Mengendalikan (*control*)

Fokus pada fase ini adalah menjaga peningkatan (*improve*) yang telah dilakukan agar dapat terus berlangsung. Dalam hal ini, agar jumlah produksi cetakan baik dapat dicapai dengan maksimal, maka pengendalian faktor kadar SCO dan kadar soda dalam larutan pembersih harus benar-benar dipantau, sesuai dengan batas yang telah didapat dari hasil fase peningkatan sebelumnya.

Bentuk pengendalian dapat berupa daftar periksa (*checksheet*), pemeriksaan secara berkala untuk memastikan bahwa prosedur pekerjaan telah dilakukan dengan benar dan aplikasi diagram pengendalian proses untuk memonitor kinerja.

Proses pengendalian harus sama-sama dilakukan lintas fungsi. Standar Operasi Produksi (SOP) baru harus dibuat sehingga unit-unit kerja terkait mempunyai tanggung jawab yang sama didalam menghasilkan produk dengan kualitas yang baik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini, yaitu :

1. Kinerja proses unit pengolahan larutan pembersih daur ulang PT XY telah diperoleh dengan menggunakan metodologi *Six Sigma*, yaitu dengan merumuskan masalah kegagalan cetakan yang paling tinggi, pengukuran kapabilitas proses, penentuan akar penyebab kecacatan kualitas cetakan dan peningkatan/perbaikan penyebab kegagalan cetak, menggunakan metode *Design Of Experiments* (DOE) dengan pengujian perubahan variabel-variabel faktor yaitu kadar soda kaustik dan kadar SCO.
2. Kriteria cacat cetakan dengan jenis cetakan kotor menempati urutan tertinggi, yaitu sebesar 62,6 % dibandingkan dengan jenis cacat cetak lain seperti : cetakan menular, cetakan botak, cetakan blobor, cetakan *miss register* dan cetakan tipis.
3. Hasil pengukuran kinerja seluruh proses produksi cetakan adalah sebesar 3,42 sigma, dimana berada dalam kategori rata-rata industri, sedangkan kapabilitas proses unit pengolahan larutan pembersih pada kadar soda kaustik dan kadar SCO masih berada dalam target kualitas yang rendah

- karena sama-sama mempunyai nilai indeks kapabilitas Cpm dan Cpk kurang dari 1,33.
4. Akar sebab cacat cetakan kotor dapat diidentifikasi menggunakan diagram *cause & effect* dan disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu : pada mesin cetak, proses, pengukuran, tenaga kerja, material dan lingkungan.
 5. Fase peningkatan/perbaikan proses dengan metode DOE menunjukkan pengaruh signifikan kadar soda kaustik, kadar SCO dan interaksi kadar keduanya terhadap respon cetakan dengan kualitas yang baik, dengan nilai F hitung lebih besar dari F tabel dan *p value* lebih kecil dari koefisien signifikansi yang ditetapkan sebesar 0,05 (*confidence level* 95 %).
 6. Langkah selanjutnya yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kualitas proses pengolahan larutan pembersih daur ulang adalah dengan pengendalian proses daur ulang larutan pembersih untuk menjaga konsistensi perbaikan proses, dengan cara : membuat Standar Operasi Prosedur yang baru, daftar periksa (*checksheet*), pemeriksaan secara berkala dan aplikasi diagram pengendalian proses untuk memonitor kinerja.

Daftar Acuan :

Anang Hidayat, “ *Strategi Six Sigma*”, Elex Media Komputindo, 2007.

Arthur R. Tenner dan Irving J. DeToro, *Total Quality Management: Three Steps to Continuous Improvement* , Reading, MA: Addison-Wesley, 1992.

Chase, Aquilano dan Jacobs, “*Operations Management For Competitive Advantage*”, Mc Graw Hill, 2004.

C. Tri Hendradi, “*Statistik Six Sigma dengan Minitab*”, Andi, 2006.

Douglas C. Montgomery, “*Design and Analysis of Experiments*”, John Wiley & Sons, Inc, 2005.

James R.Evans, William M.Lindsay, “*An Introduction to Six Sigma & Process Improvement*”, Salemba Empat, 2007.

Jiju Antony, 2001, “Improving The Manufacturing Process Quality Using Design of Experiments : a case study”, *International Journal of Operations & Production Management*.

Peter S.Pande, Robert P. Neuman, Roland R.Cavanagh, “*The Six Sigma Way*”, Andi Yogyakarta, 2002.



IV. Percentage Points of the F Distribution (continued)

v ₁	Degrees of Freedom for the Numerator (v ₂)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	161.4	199.5	215.7	228.6	240.2	254.0	266.9	278.9	290.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36	
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67	
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23	
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.80	2.70	2.61	2.53	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.65	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.30	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.19	2.13	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39	
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00	

Lampiran 2 :
Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma



Lampiran 2. Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Motorola's 6-Sigma Process (Normal Distribution Shifted 1.5-sigma)

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
0.00	933.193	0.51	839.913	1.02	684.386	1.53	488.033
0.01	931.888	0.52	836.457	1.03	680.822	1.54	484.047
0.02	930.563	0.53	833.977	1.04	677.242	1.55	480.061
0.03	929.219	0.54	831.472	1.05	673.645	1.56	476.078
0.04	927.855	0.55	828.944	1.06	670.031	1.57	472.097
0.05	926.471	0.56	826.391	1.07	666.402	1.58	468.119
0.06	925.066	0.57	823.814	1.08	662.757	1.59	464.144
0.07	923.641	0.58	821.214	1.09	659.097	1.60	460.172
0.08	922.196	0.59	818.589	1.10	655.422	1.61	456.205
0.09	920.730	0.60	815.940	1.11	651.732	1.62	452.242
0.10	919.243	0.61	813.267	1.12	648.027	1.63	448.283
0.11	917.736	0.62	810.570	1.13	644.309	1.64	444.330
0.12	916.207	0.63	807.850	1.14	640.576	1.65	440.382
0.13	914.656	0.64	805.106	1.15	636.831	1.66	436.441
0.14	913.085	0.65	802.338	1.16	633.072	1.67	432.505
0.15	911.492	0.66	799.546	1.17	629.300	1.68	428.576
0.16	909.877	0.67	796.731	1.18	625.516	1.69	424.655
0.17	908.241	0.68	793.892	1.19	621.719	1.70	420.740
0.18	906.582	0.69	791.030	1.20	617.911	1.71	416.834
0.19	904.902	0.70	788.145	1.21	614.092	1.72	412.936
0.20	903.199	0.71	785.236	1.22	610.261	1.73	409.046
0.21	901.475	0.72	782.305	1.23	606.420	1.74	405.165
0.22	899.727	0.73	779.350	1.24	602.568	1.75	401.294
0.23	897.958	0.74	776.373	1.25	598.706	1.76	397.432
0.24	896.165	0.75	773.373	1.26	594.835	1.77	393.580
0.25	894.350	0.76	770.350	1.27	590.954	1.78	389.739
0.26	892.512	0.77	767.305	1.28	587.064	1.79	385.908
0.27	890.651	0.78	764.238	1.29	583.166	1.80	382.089
0.28	888.767	0.79	761.148	1.30	579.260	1.81	378.281
0.29	886.860	0.80	758.036	1.31	575.345	1.82	374.484
0.30	884.930	0.81	754.903	1.32	571.424	1.83	370.700
0.31	882.977	0.82	751.748	1.33	567.495	1.84	366.928
0.32	881.000	0.83	748.571	1.34	563.559	1.85	363.169
0.33	878.999	0.84	745.373	1.35	559.618	1.86	359.424
0.34	876.976	0.85	742.154	1.36	555.670	1.87	355.691
0.35	874.928	0.86	738.914	1.37	551.717	1.88	351.973
0.36	872.857	0.87	735.653	1.38	547.758	1.89	348.268
0.37	870.762	0.88	732.371	1.39	543.795	1.90	344.578
0.38	868.643	0.89	729.069	1.40	539.828	1.91	340.903
0.39	866.500	0.90	725.747	1.41	535.856	1.92	337.243
0.40	864.334	0.91	722.405	1.42	531.881	1.93	333.598
0.41	862.143	0.92	719.043	1.43	527.903	1.94	329.969
0.42	859.929	0.93	715.661	1.44	523.922	1.95	326.355
0.43	857.690	0.94	712.260	1.45	519.938	1.96	322.758
0.44	855.428	0.95	708.840	1.46	515.953	1.97	319.178
0.45	853.141	0.96	705.402	1.47	511.967	1.98	315.614
0.46	850.830	0.97	701.944	1.48	507.978	1.99	312.067
0.47	848.495	0.98	698.468	1.49	503.989	2.00	308.538
0.48	846.136	0.99	694.974	1.50	500.000	2.01	305.026
0.49	843.752	1.00	691.462	1.51	496.011	2.02	301.532
0.50	841.345	1.01	687.933	1.52	492.022	2.03	298.056

2.04	294.598	2.55	146.859	3.06	59.380	3.57	19.226
2.05	291.160	2.56	144.572	3.07	58.208	3.58	18.763
2.06	287.740	2.57	142.310	3.08	57.053	3.59	18.309
2.07	284.339	2.58	140.071	3.09	55.917	3.60	17.864
2.08	280.957	2.59	137.857	3.10	54.799	3.61	17.429
2.09	277.595	2.60	135.666	3.11	53.699	3.62	17.003
2.10	274.253	2.61	133.500	3.12	52.616	3.63	16.586
2.11	270.931	2.62	131.357	3.13	51.551	3.64	16.177
2.12	267.629	2.63	129.238	3.14	50.503	3.65	15.778
2.13	264.347	2.64	127.143	3.15	49.471	3.66	15.386
2.14	261.086	2.65	125.072	3.16	48.457	3.67	15.003
2.15	257.846	2.66	123.024	3.17	47.460	3.68	14.629
2.16	254.627	2.67	121.001	3.18	46.479	3.69	14.262
2.17	251.429	2.68	119.000	3.19	45.514	3.70	13.903
2.18	248.252	2.69	117.023	3.20	44.565	3.71	13.553
2.19	245.097	2.70	115.070	3.21	43.633	3.72	13.209
2.20	241.964	2.71	113.140	3.22	42.716	3.73	12.874
2.21	238.852	2.72	111.233	3.23	41.815	3.74	12.545
2.22	235.762	2.73	109.349	3.24	40.929	3.75	12.224
2.23	232.695	2.74	107.488	3.25	40.059	3.76	11.911
2.24	229.650	2.75	105.650	3.26	39.204	3.77	11.604
2.25	226.627	2.76	103.835	3.27	38.364	3.78	11.304
2.26	223.627	2.77	102.042	3.28	37.538	3.79	11.011
2.27	220.650	2.78	100.273	3.29	36.727	3.80	10.724
2.28	217.695	2.79	98.525	3.30	35.930	3.81	10.444
2.29	214.764	2.80	96.801	3.31	35.148	3.82	10.170
2.30	211.855	2.81	95.098	3.32	34.379	3.83	9.903
2.31	208.970	2.82	93.418	3.33	33.625	3.84	9.642
2.32	206.108	2.83	91.759	3.34	32.884	3.85	9.387
2.33	203.269	2.84	90.123	3.35	32.157	3.86	9.137
2.34	200.454	2.85	88.508	3.36	31.443	3.87	8.894
2.35	197.662	2.86	86.915	3.37	30.742	3.88	8.656
2.36	194.894	2.87	85.344	3.38	30.054	3.89	8.424
2.37	192.150	2.88	83.793	3.39	29.379	3.90	8.198
2.38	189.430	2.89	82.264	3.40	28.716	3.91	7.976
2.39	186.733	2.90	80.757	3.41	28.067	3.92	7.760
2.40	184.060	2.91	79.270	3.42	27.429	3.93	7.549
2.41	181.411	2.92	77.804	3.43	26.803	3.94	7.344
2.42	178.786	2.93	76.359	3.44	26.190	3.95	7.143
2.43	176.186	2.94	74.934	3.45	25.588	3.96	6.947
2.44	173.609	2.95	73.529	3.46	24.998	3.97	6.756
2.45	171.056	2.96	72.145	3.47	24.419	3.98	6.569
2.46	168.528	2.97	70.781	3.48	23.852	3.99	6.387
2.47	166.023	2.98	69.437	3.49	23.295	4.00	6.210
2.48	163.543	2.99	68.112	3.50	22.750	4.01	6.037
2.49	161.087	3.00	66.807	3.51	22.216	4.02	5.868
2.50	158.655	3.01	65.522	3.52	21.692	4.03	5.703
2.51	156.248	3.02	64.256	3.53	21.178	4.04	5.543
2.52	153.864	3.03	63.008	3.54	20.675	4.05	5.386
2.53	151.505	3.04	61.780	3.55	20.182	4.06	5.234
2.54	149.170	3.05	60.571	3.56	19.699	4.07	5.085

4.08	4.940	4.59	1.001	5.10	159	5.61	20
4.09	4.799	4.60	968	5.11	153	5.62	19
4.10	4.661	4.61	936	5.12	147	5.63	18
4.11	4.527	4.62	904	5.13	142	5.64	17
4.12	4.397	4.63	874	5.14	136	5.65	17
4.13	4.269	4.64	845	5.15	131	5.66	16
4.14	4.145	4.65	816	5.16	126	5.67	15
4.15	4.025	4.66	789	5.17	121	5.68	15
4.16	3.907	4.67	762	5.18	117	5.69	14
4.17	3.793	4.68	736	5.19	112	5.70	13
4.18	3.681	4.69	711	5.20	108	5.71	13
4.19	3.573	4.70	687	5.21	104	5.72	12
4.20	3.467	4.71	664	5.22	100	5.73	12
4.21	3.364	4.72	641	5.23	96	5.74	11
4.22	3.264	4.73	619	5.24	92	5.75	11
4.23	3.167	4.74	598	5.25	88	5.76	10
4.24	3.072	4.75	577	5.26	85	5.77	10
4.25	2.980	4.76	557	5.27	82	5.78	9
4.26	2.890	4.77	538	5.28	78	5.79	9
4.27	2.803	4.78	519	5.29	75	5.80	9
4.28	2.718	4.79	501	5.30	72	5.81	8
4.29	2.635	4.80	483	5.31	70	5.82	8
4.30	2.555	4.81	467	5.32	67	5.83	7
4.31	2.477	4.82	450	5.33	64	5.84	7
4.32	2.401	4.83	434	5.34	62	5.85	7
4.33	2.327	4.84	419	5.35	59	5.86	7
4.34	2.256	4.85	404	5.36	57	5.87	6
4.35	2.186	4.86	390	5.37	54	5.88	6
4.36	2.118	4.87	376	5.38	52	5.89	6
4.37	2.052	4.88	362	5.39	50	5.90	5
4.38	1.988	4.89	350	5.40	48	5.91	5
4.39	1.926	4.90	337	5.41	46	5.92	5
4.40	1.866	4.91	325	5.42	44	5.93	5
4.41	1.807	4.92	313	5.43	42	5.94	5
4.42	1.750	4.93	302	5.44	41	5.95	4
4.43	1.695	4.94	291	5.45	39	5.96	4
4.44	1.641	4.95	280	5.46	37	5.97	4
4.45	1.589	4.96	270	5.47	36	5.98	4
4.46	1.538	4.97	260	5.48	34	5.99	4
4.47	1.489	4.98	251	5.49	33	6.00	3
4.48	1.441	4.99	242	5.50	32		
4.49	1.395	5.00	233	5.51	30		
4.50	1.350	5.01	224	5.52	29		
4.51	1.306	5.02	216	5.53	28		
4.52	1.264	5.03	208	5.54	27		
4.53	1.223	5.04	200	5.55	26		
4.54	1.183	5.05	193	5.56	25		
4.55	1.144	5.06	185	5.57	24		
4.56	1.107	5.07	179	5.58	23		
4.57	1.070	5.08	172	5.59	22		
4.58	1.035	5.09	165	5.60	21		

Catatan: Tabel konversi ini mencakup pergeseran 1.5-sigma untuk semua nilai Z

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2006)