

**PENERAPAN SIKLUS DMAIC DENGAN METODE TAGUCHI UNTUK
MENINGKATKAN KUALITAS BATA MERAH DENGAN
PENAMBAHAN SERBUK GERGAJI**

(Studi Kasus: Industri Batu Bata Merah, Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan
Kedungkandang, Kota Malang)

**SKRIPSI
KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**GISTI AYU PRATIWI
NIM.115060707111012-67**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2015**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENERAPAN SIKLUS DMAIC DENGAN METODE *TAGUCHI* UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS BATA MERAH DENGAN PENAMBAHAN SERBUK GERGAJI

(Studi Kasus: Industri Batu Bata Merah, Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan
Kedungkandang, Kota Malang)

SKRIPSI

KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

GISTI AYU PRATIWI
NIM. 115060707111012-67

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Nasir Widha Setyanto ST.MT.
NIP. 19700914 200501 1 001

L. Tri Wijaya Nata Kusuma ST.MT.
NIK. 870726 06 1 1 0086

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN SIKLUS DMAIC DENGAN METODE *TAGUCHI* UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS BATA MERAH DENGAN PENAMBAHAN SERBUK GERGAJI

(Studi Kasus: Industri Batu Bata Merah, Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan
Kedungkandang, Kota Malang)

SKRIPSI KONSENTRASI REKAYASA SISTEM INDUSTRI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

GISTI AYU PRATIWI
NIM 115060707111012-67

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 30 Januari 2015

Penguji Skripsi 1



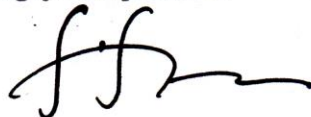
Rahmi Yuniarti, ST., MT
NIP. 19840624 200812 2 004

Penguji Skripsi 2



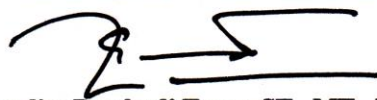
Arif Rahman, ST., MT.
NIP. 19740528 200801 1 010

Penguji Komprehensif



Sugiono, ST., MT., Ph.D
NIP. 19780114 200501 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Industri



Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D
NIP. 19730819 199903 1 002

**PERNYATAAN
ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK) dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, Januari 2015
Mahasiswa



Gisti Ayu Pratiwi
NIM. 115060707111012

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas limpahan berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Semoga rahmat dan hidayah-Nya selalu dilimpahkan kepada kita semua. Tidak lupa shalawat dan salam kami haturkan kepada Rasulullah, Nabi Muhammad SAW.

Skripsi yang berjudul **“PENERAPAN SIKLUS DMAIC DENGAN METODE TAGUCHI UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS BATA MERAH DENGAN PENAMBAHAN SERBUK GERGAJI”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Fakultas Teknik di Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat dukungan dan bimbingan beberapa pihak. Oleh Karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan terimakasih kepada :

1. Orang tuaku tercinta, Bapak Mayor CAJ Supranoto dan Ibu Titik Nurnawati, S.Pd atas kasih sayang, kesabaran yang tak terbatas, untuk pelajaran dan didikan yang diberikan selama ini, motivasi, dukungan mental dan materiil, serta perjuangan yang tidak pernah lelah demi memberikan pendidikan yang terbaik kepada penulis.
2. Bapak Ishardita Pambudi Tama, ST., MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, penulis berterimakasih atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan masukan, arahan, serta ilmu yang sangat berharga bagi penulis.
3. Bapak Nasir Widha Setyanto ST., MT. dan Bapak L. Tri Wijaya Nata Kusuma, ST., MT. selaku dosen pembimbing I dan II, penulis berterimakasih atas kesabaran dalam membimbing penulis, memberikan masukan, arahan, motivasi, dan ilmu yang sangat berharga bagi penulis.
4. Bapak Nasir Widha Setyanto, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Akademik, penulis berterimakasih atas kesabaran dalam membimbing dan memberikan arahan terhadap penulis hingga bisa menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu Ceria Farela M. Tantrika, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Rekayasa Sistem Industri, penulis berterimakasih atas bimbingannya dan arahan yang telah diberikan selama masa pengerjaan skripsi.

6. Bapak dan Ibu Dosen Pengajar di Jurusan Teknik Industri yang telah dengan ikhlas memberikan ilmu yang sangat berharga bagi penulis.
7. Bapak Sugimin selaku pengrajin batu bata merah Cemorokandang dan Bapak Buhari selaku satpam yang telah banyak membantu dalam proses pembuatan batu bata.
8. Adikku tercinta Fajar Giri Leksono dan Keluarga besar atas dukungan dan doa yang selalu menyertai penulis.
9. Saudara Ryan Hidayat yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan doa yang sepenuhnya untuk penulis dalam suka dan duka.
10. Sahabatku tercinta Tyasha, Mutiara, Olifa, Windy, dan Desita yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
11. Sahabat tercinta SRK'11, Taufiq, Haidar, Pungky, Yuki, Tita, Tyasha, Ela, dan Riza yang telah memberikan dukungan, motivasi, semangat, dan doa serta selalu mendampingi penulis dalam menyelesaikan skripsi penulis.
12. Adik – adik SRK'12 Suko, Elsyia, Uzil, Megananda, Lutfi, Verly, Firman, Sulvi, Ilya, Hadinda, dan Finda serta Keluarga Besar Laboratorium SRK yang telah memberi dukungan dan doa yang sepenuhnya untuk penulis.
13. Seluruh teman – teman Teknik Industri angkatan 2011 (TI'11) yang telah memberikan dukungan dan doa dalam penyelesaian skripsi penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu saran dan kritik sangat diperlukan untuk kebaikan di masa depan. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Malang, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 IDENTIFIKASI MASALAH	6
1.3 RUMUSAN MASALAH	7
1.4 BATASAN MASALAH	7
1.5 ASUMSI	8
1.6 TUJUAN PENELITIAN	8
1.7 MANFAAT PENELITIAN	8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PENELITIAN TERDAHULU	9
2.2 KUALITAS	10
2.3 <i>SIX SIGMA</i>	11
2.4 SIKLUAS DMAIC	12
2.4.1 Fase <i>Define</i>	12
2.4.2 Fase <i>Measure</i>	12
2.4.3 Fase <i>Analyze</i>	16
2.4.4 Fase <i>Improve</i>	16
2.4.5 Fase <i>Control</i>	16
2.5 DIAGRAM SIPOC	17
2.6 PENGENDALIAN PROSES STATISTIK	17
2.6.1 Diagram Sebab Akibat	18

2.6.2 Control Chart	18
2.6.2.1 Peta Kontrol Variabel X (<i>Mean</i>) dan R (<i>Range</i>)	19
2.7 DESAIN EKSPERIMEN.....	20
2.7.1 Metode <i>Taguchi</i>	21
2.7.2 <i>Orthogonal Array</i>	23
2.7.3 Klasifikasi Karakteristik Kualitas	24
2.7.4 Klasifikasi Parameter.....	24
2.7.5 <i>Signal Noise to Ratio (S/N Ratio)</i>	25
2.7.6 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i> untuk Data Variabel	26
2.7.7 Interval Kepercayaan	28
2.7.8 Eksperimen Konfirmasi	28
2.8 KARAKTERISTIK SERBUK KAYU	29
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 JENIS PENELITIAN	30
3.2 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN	30
3.3 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN	31
3.4 PENGUMPULAN DATA	31
3.4.1 Tahap Penelitian Pendahuluan	32
3.4.2 Metode Pengumpulan Data	33
3.4.3 Pengolahan Data	33
3.4.4 Analisa dan Pembahasan	34
3.5 LANGKAH – LANGKAH PENELITIAN	34
3.5.1 Diagram Alir Peneltian.....	35
3.5.2 Diagram Alir Metode <i>Taguchi</i>	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN.....	37
4.2 FASE <i>DEFINE</i>	37
4.2.1 Identifikikasi Tujuan <i>Six Sigma</i>	38
4.2.2 Diagram SIPOC	38
4.3 FASE <i>MEASURE</i>	41
4.3.1 Penetapan Karakteristik Kualitas (CTQ) Kunci.....	41

4.3.2 Pengukuran Performa Produk Batu Bata Merah	42
4.3.2.1 Pengendalian Kualitas Proses Statistik Data Variabel	42
4.3.2.2 Pengukuran <i>Baseline</i> Performa	46
4.4 FASE <i>ANALYZE</i>	48
4.4.1 Identifikasi Sumber dan Akar Penyebab Masalah Kualitas	48
4.5 FASE <i>IMPROVE</i>	52
4.5.1 Penetapan Karakteristik Kualitas.....	52
4.5.2 Penetapan Faktor dan Level Berpengaruh	52
4.5.3 Penetapan <i>Orthogonal Array</i>	54
4.5.4 Pelaksanaan Eksperimen Taguchi	55
4.5.5 Pengolahan <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i> untuk Data Variabel	56
4.5.6 Perhitungan Nilai <i>Signal Noise to Ratio (SNR)</i>	61
4.5.7 Penentuan <i>Setting Level</i> Optimal.....	63
4.5.8 Perkiraan Kondisi dan Selang Kepercayaan.....	63
4.4.9 Eksperimen Konfirmasi	64
4.4.10 Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi	67
4.5 FASE <i>CONTROL</i>	69
4.5.1 Perhitungan <i>X-Chart</i> dan <i>R-Chart</i> Eksperimen Konfirmasi	69
4.5.2 Pengukuran <i>Baseline Performa</i> Proses Eksperimen Konfirmasi	72
4.6 PEMBAHASAN.....	75
BAB V PENUTUP	
5.1 KESIMPULAN	78
5.2 SARAN	79
DAFTAR PUSTAKA	80
LAMPIRAN	81

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78.....	3
Tabel 1.2 Mutu Batu Bata Merah Menurut Kuat Tekan NI-10	3
Tabel 1.3 Jumlah Produk Batu Bata Merah, Jumlah <i>Defect</i> , Kuat Tekan Batu Bata Merah Bulan Juli – Agustus 2014	3
Tabel 1.4 Perbandingan Metode Desain Eksperimen.....	6
Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 2.2 Rumus Perhitungan DPMO untuk Data Variabel.....	13
Tabel 2.3 <i>Orthogonal Array</i> Standar dari <i>Taguchi</i>	24
Tabel 2.4 Klasifikasi Karakteristik Kualitas.....	24
Tabel 2.5 Tabel Data Variabel	26
Tabel 2.6 <i>Response Table of Factor Effects</i>	27
Tabel 2.7 Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal dan Konfirmasi	29
Tabel 4.1 Hasil Pengolahan Data X-bar dan R-bar	43
Tabel 4.2 Level Faktor yang Berpengaruh	54
Tabel 4.3 Perhitungan <i>Degree of Freedom</i>	54
Tabel 4.4 <i>Orthogonal Array</i>	55
Tabel 4.5 Komposisi Bahan Baku	55
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Kuat Tekan Eksperimen <i>Taguchi</i>	56
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batu Bata	56
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Rata-rata Kuat Tekan	57
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Tabel Respon	58
Tabel 4.10 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i>	60
Tabel 4.11 <i>Analysis of Variance (ANOVA) Pooling</i>	61
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan <i>Signal Noise to Ratio</i>	62
Tabel 4.13 Tabel Respon <i>Signal Noise to Ratio</i>	62
Tabel 4.14 Tabel Perbandingan Pengaruh Faktor Pada Eksperimen <i>Taguchi</i>	63
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Eksperimen Konfirmasi dan <i>Signal Noise to Ratio</i>	66
Tabel 4.16 Hasil Pengolahan data X-bar dan R-bar Uji Konfirmasi	69
Tabel 4.17 Tabel Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batu Bata untuk DPMO	72

Tabel 4.18 Tabel Perbandingan Nilai DPMO dan Nilai Sigma Pada Kondisi Aktual dan Kondisi Optimal.....	74
Tabel 4.19 Tabel Perbandingan Nilai Cpm dan Cpmk Sebelum dan Sesudah Fase <i>Improve</i>	75

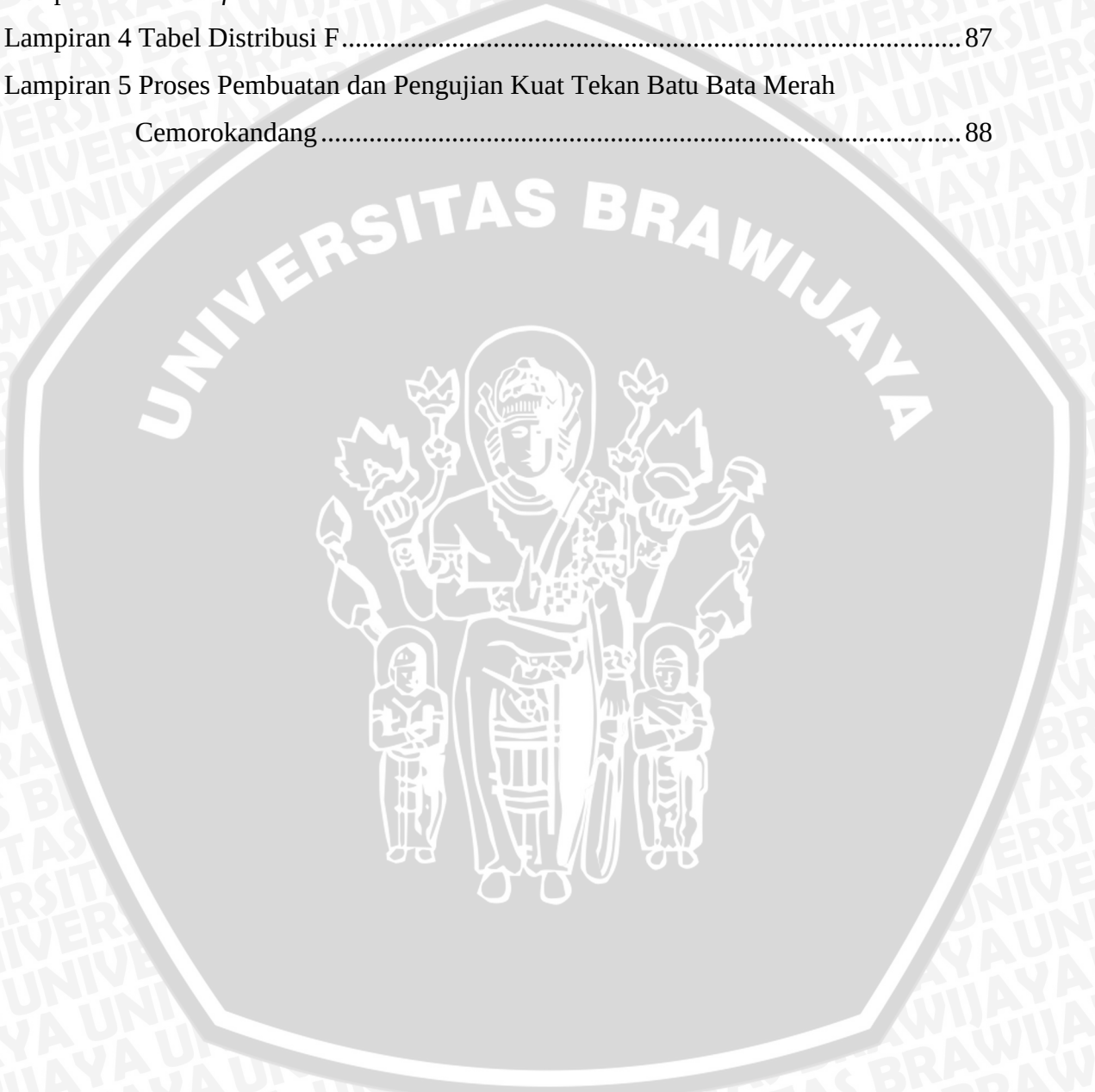


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Sebab Akibat dengan Kelima Aspek	18
Gambar 2.2 <i>Control Chart</i>	19
Gambar 2.3 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas	25
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2 Diagram Alir Metode <i>Taguchi</i>	36
Gambar 4.1 Diagram SIPOC	39
Gambar 4.5 Produk Batu Bata Merah.....	41
Gambar 4.3 Grafik Standar Industri Batu Bata Bulan Juli – Agustus 2014	42
Gambar 4.4 Peta Kontrol X	44
Gambar 4.5 Peta Kontrol R.....	45
Gambar 4.6 <i>Fish Bone Diagram</i>	49
Gambar 4.7 Perbandingan Selang Kepercayaan Optimal dan Eksperimen Konfirmasi...	68
Gambar 4.8 X-Chart Batu Bata Merah Uji Konfirmasi	71
Gambar 4.9 R-Chart Batu Bata Merah Uji Konfirmasi.....	72

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Distribusi Normal.....	81
Lampiran 2 Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola	83
Lampiran 3 <i>Table of Control Chart Constants</i>	86
Lampiran 4 Tabel Distribusi F.....	87
Lampiran 5 Proses Pembuatan dan Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Merah Cemorokandang.....	88



RINGKASAN

Gisti Ayu Pratiwi, Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya, Januari 2015, Penerapan Siklus DMAIC dengan Metode *Taguchi* untuk Meningkatkan Kualitas Batu Merah dengan Penambahan Serbuk Gergaji (Studi Kasus : Industri Batu Bata Merah, Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan Kedungkandang, Kota Malang), Dosen Pembimbing: Nasir Widha Setyanto dan L. Tri Wijaya Nata Kusuma.

Persaingan dalam bidang pemasaran produk yang semakin ketat menuntut perusahaan memberikan yang terbaik bagi konsumennya. Kualitas produk merupakan salah satu kriteria penting bagi konsumen, maka diperlukan pengendalian dan peningkatan kualitas secara terus menerus untuk memenuhi harapan konsumen. Salah satu daerah industri batu bata merah terletak di Cemorokandang, Kota Malang. Permasalahan yang terjadi pada pengrajin batu bata merah yaitu kurangnya pengetahuan mengenai pentingnya kuat tekan pada batu bata merah dan mengenai Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78, sehingga cacat pada produk dianggap tidak bisa digunakan kembali. Untuk mengidentifikasi permasalahan dan meningkatkan kualitas kuat tekan batu bata pada proses produksi, maka menggunakan penerapan siklus DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*) dan menggunakan metode *Taguchi*.

Fase *Define* dilakukan untuk identifikasi tujuan *Six Sigma* dengan diagram SIPOC. Fase *Measure*, untuk menetapkan *Critical to Quality* (CTQ), menghitung dan membuat peta kontrol, menghitung nilai *Defect per Million Opportunity* (DPMO), perhitungan level sigma, perhitungan nilai kapabilitas proses (Cpm) dan kapabilitas *output* (Cpmk), dan perhitungan % *off target*. Fase *Analyze* dengan *fishbone diagram* untuk menentukan akar penyebab masalah. Pada fase *Improve*, dilakukan perbaikan dengan metode *Taguchi*. Pada Fase *Control*, menggunakan *setting level* optimal *Taguchi* untuk meningkatkan kualitas kuat tekan batu bata merah.

Berdasarkan hasil analisis DMAIC, permasalahan kualitas kuat tekan adalah terdapat beberapa hari produksi yang memiliki kuat tekan diluar batas spesifikasi menurut standar kuat tekan. Dari analisa *fishbone chart*, penyebab permasalahan yang digunakan untuk mencari solusi masalah kualitas yaitu penyebab yang dapat dikendalikan meliputi lama penggilingan, lama pengeringan, posisi pembakaran, dan komposisi bahan baku (tanah liat:abu hasil pembakaran tebu:serbuk kayu). *Setting Level* optimal dari hasil eksperimen *Taguchi*, yaitu komposisi tanah liat:Abu hasil pembakaran tebu:serbuk kayu (75%:20%:5%), lama penggilingan 1,5 jam, lama pengeringan 3 hari, dan posisi pembakaran ditengah. Dengan menggunakan *setting level* optimal tersebut, terjadi penurunan nilai DPMO, kenaikan level sigma, dan kenaikan kapabilitas proses dan *output*.

Kata Kunci : Batu Bata Merah, Kuat Tekan, Siklus DMAIC, Metode *Taguchi*

SUMMARY

Gisti Ayu Pratiwi, Department of Industrial Engineering, Engineering Faculty, Brawijaya University, January 2015. Implementation of DMAIC Cycle with Taguchi Method to Improve Quality of Brick with The Addition of Sawdust (The Case Study : Industrial Centers of Bricks at Cemorokandang, Kedungkandang District, Malang), Supervisors : Nasir Widha Setyanto and L.Tri Wijaya Nata Kusuma.

Competition in the field of products marketing that are increasingly demanded the company provide the best for its customers. Quality is an important thing to be given and fulfilled by the company to meet customer satisfaction, both of inputs, production process to output products to the hands of consumers. Therefore, the necessary control and continuous quality improvement to meet consumer expectations. Based on data from the Industrial Department of Malang in 2014, one of the brick industrial area located in Cemorokandang, Malang. The Problems that occur in brick craftsman is the lack of knowledge about the importance of brick compressive strength and the provisions of the Indonesian Industrial Standards Standards Compressive Strength of Bricks SII-0021-78, so the product was considered defective could not reused. Therefore, to identify problems and improve the quality of the compressive strength of bricks in the production process of bricks used the implementation phase of DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) and Taguchi method.

Analysis of Six Sigma in this study was conducted to phase control. Define phase using for identify the purpose of Six Sigma and using SIPOC. The Measure phase using for determine the CTQ (Critical to Quality), perform calculations and create control chart, calculating the value of DPMO (Defect per Million Opportunities), sigma level, capability process (Cpm) and capability output (Cpmk), as well as the calculation % off target. Furthermore, Analyze phase make causal diagram for determining the root cause of the problem. In the Improve phase, carried out repairs using the Taguchi method to obtain the optimal setting for the reference level in the production process. In Phase Control, does the use of the optimal level setting to improving the quality of the brick compressive strength.

Based on the analysis of DMAIC, found quality problems compressive strength is the process of production on a few production day are outside the specification limits according to the Compressive Strength Standard Bricks SII-0021-78. The result of causal diagram analysis, the cause of the incompatibility of the compressive strength of bricks that will be used to find solutions to problems that cause of quality that can be controlled include amount of Rolling Time, Drying Time, Burning Position and Composition Raw Materials (Clay:Cane Ash :Sawdust). The optimal level setting of Taguchi experimental results, namely the composition of clay: Cane Ash: sawdust (75%: 20%: 5%), the Rolling Time for 1.5 hours, Drying Time for 3 days, and Burning Position Located in the Central. By using the optimum level setting, the value of DPMO was decreasing, for sigma level and capability process and output was increasing.

Keyword : Red Bricks, Compressive Strength, DMAIC Cycle, Taguchi Method

BAB I PENDAHULUAN

Dalam melaksanakan penelitian diperlukan hal-hal penting yang digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaannya. Bab ini akan menjelaskan mengenai latar belakang mengapa permasalahan ini diangkat, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian yang dilakukan.

1.1 LATAR BELAKANG

Persaingan dalam pemasaran produk dewasa ini menuntut setiap perusahaan untuk memberikan hal terbaik bagi konsumennya. Kualitas merupakan hal penting yang harus diberikan dan dipenuhi oleh perusahaan untuk memenuhi kepuasan pelanggan, baik dari input, proses produksi hingga *output* produk sampai ditangan konsumen. Hal ini dikarenakan, kualitas suatu produk merupakan salah satu tolak ukur pertimbangan bagi pelanggan dalam memilih dan mengkonsumsi produk dalam jangka waktu yang lama. Salah satu strategi yang dapat dilakukan oleh perusahaan untuk menjamin kualitas adalah dengan pengendalian kualitas secara terus-menerus baik dari standar yang telah ditetapkan perusahaan dan diimbangi dengan kebutuhan spesifik konsumen. Keseimbangan antara keduanya akan meningkatkan kualitas produk yang secara langsung akan meningkatkan profit untuk perusahaan pula.

Perkembangan industri batu bata merah dalam skala mikro, sedang mengalami peningkatan produksi seiring semakin meningkatnya perkembangan industri *real estate* di Kota Malang. Berdasarkan data pemetaan wilayah industri Dinas Perindustrian Kota Malang pada tahun 2014, salah satu daerah industri batu bata merah terletak di Cemorokandang, Kecamatan Kedung Kandang, Kota Malang. Dalam tingkat ekspansi pasar, para pengrajin batu bata merah mengatakan bahwa industri batu bata merah di Cemorokandang memang kurang berkembang seperti sentra industri keramik ataupun sentra industri sanitair di Kota Malang. Hal ini dikarenakan, industri batu bata merah lebih sering diproduksi di desa-desa di sekitar pinggiran Kota Malang. Walaupun kurang terkenalnya industri batu bata merah Cemorokandang di Kota Malang, tetapi permintaan batu bata cukup luas, yaitu mencakup beberapa toko bangunan di wilayah sekitar Kelurahan Cemorokandang dan dijual secara langsung oleh produsen dirumah mereka.

Dari 10.000 batu bata yang diproduksi setiap bulannya, terdapat beberapa produk cacat yang dihasilkan. Adanya *defect* pada hasil produksi dikarenakan industri batu bata merah masih belum memiliki dan menggunakan standar kualitas yang jelas. Standar

Kualitas batu bata merah yang digunakan oleh produsen masih bersifat subyektif atau perkiraan. Kualitas yang ditekankan pada industri batu bata merah yaitu kualitas secara atribut (*atribut defect*) yang ditentukan secara visual pada batu bata merah seperti tidak retak, tidak gosong, dan tidak patah pada ujung batu bata merah, tetapi para pengrajin melupakan betapa pentingnya kualitas secara variabel (*variabel defect*), seperti kuat tekan batu bata merah dan daya serap air batu bata merah. Disisi lain, kualitas secara variabel dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas produk bukan hanya secara fisik tapi secara keseluruhan produk. Sebagai contoh, pengrajin batu bata merah menganggap *defect* pada batu bata hanya dikarenakan sedikit patah diujung, tetapi setelah diuji kuat tekan, produk tersebut memiliki kualitas daya tekan yang sesuai dengan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78, maka produk tersebut tidak bisa dianggap cacat dari segi kualitas variabel yang telah terukur. Menurut salah satu produsen batu bata merah di Cemorokandang, menurut Bapak Sugimin selaku pengrajin mengatakan bahwa faktor yang menyebabkan produk *defect* pada batu bata merah antara lain kurangnya pengetahuan mengenai Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78, kurangnya kontrol terhadap bahan baku (tanah liat dan abu hasil tebu), tidak adanya takaran pasti untuk bahan baku, lamanya proses penggilingan adonan bahan baku, lamanya proses pengeringan, lamanya proses pembakaran, dan posisi pembakaran batu bata.

Pada kenyataannya Indonesia telah memiliki Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 mengenai batu bata merah. Standar Industri Indonesia batu bata merah menurut Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 harus memenuhi beberapa syarat mutu, diantaranya dari tampak luar, batu bata mempunyai rusuk yang tajam dan siku, bidang – bidang sisi datar, tidak menunjukkan retak dan perubahan bentuk yang berlebihan, kecuali bentuk lain yang disengaja karena pencetakan dan diperbolehkan, selain itu memperhitungkan kuat tekan dan daya resap air pada batu bata. Pada penelitian ini, peneliti memfokuskan penelitian terhadap Standar Kuat Tekan Batu Bata.

Terdapat hal yang paling penting mengenai standar mutu batu bata merah berdasarkan kuat tekan batu bata merah. Pertama-tama, kuat tekan merupakan kemampuan batu bata untuk menerima beban maksimum sampai batu bata pecah. Besarnya kuat tekan rata-rata dan koefisien variasi yang diizinkan untuk batu bata dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78

Kelas	Kuat Tekan rata-rata Minimum dari 30 buah bata yang diuji		Koefisien variasi yang diijinkan dari rata-rata kuat tekan bata yang diuji (%)
	Kg/cm ²	N/mm ²	
25	25	2,5	25 %
50	50	5	22%
100	100	10	22%
150	150	15	15%
200	200	20	15%
250	250	250	15%

Sumber : Handayani (2010)

Pada Tabel 1.1, ditampilkan bahwa kuat tekan minimum yang harus dimiliki oleh sebuah batu bata merah adalah sebesar 25 kg/cm² atau 2,5 N/mm² pada kelas 25 yang artinya memiliki koefisien variasi yang diijinkan sebesar 25% dari rata-rata kuat tekan bata yang diuji.

Sedangkan untuk modul standar ukuran batu bata merah yang sesuai dengan SII-0021-78 akan ditampilkan pada tabel 1.2.

Tabel 1.2 Ukuran Modul Batu Bata Merah SII-0021-78

Modul	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)
M-5a	65	90	190
M-5b	65	140	190
M-6	50	110	220

Sumber:Handayani (2010)

Pada Tabel 1.2, ditampilkan bahwa terdapat ukuran modul yang diterapkan pada batu bata merah, seperti contoh pada penelitian ini ukuran modul yang digunakan adalah Modul M-6 dengan tebal sebesar 50 mm, lebar sebesar 110 mm, dan panjang sebesar 220 mm, ukuran ini yang disesuaikan dengan cetakan batu bata yang dimiliki oleh pengrajin, yaitu memiliki. Berikut data jumlah produk batu bata merah yang dihasilkan dan data variabel kuat tekan rata-rata pada batu bata yang diproduksi industri batu bata merah di Cemorokandang dapat dilihat pada Tabel 1.3.

Tabel 1.3 Jumlah Produk Batu Bata Merah, Jumlah *Defect*, Kuat Tekan Batu Bata Merah Bulan Juli - Agustus 2014

Bulan	Hari	Jumlah Produk Batu Bata merah (buah)	Jumlah Produk Batu Bata Merah yang cacat (buah)	Persentase <i>defect</i>	Rata-rata Kuat Tekan
Juli	1	600	31	5.17%	30.51
	2	550	29	5.27%	29.39
	3	750	45	6%	25.25
	4	525	27	5.14%	25.78
	5	525	23	4.38%	22.89
	6	600	34	5.67%	19.14
	7	650	35	5.38%	22.14
	8	700	40	5.71%	31.06
	9	550	30	5.45%	31.21
	10	650	36	5.54%	20.80
	11	575	33	5.74%	24.68
	12	675	37	5.48%	28.25
	13	600	35	5.83%	30.52
	14	700	39	5.57%	22.88
	15	650	34	5.23%	30.51
	16	700	41	5.86%	29.27

Tabel 1.3 Jumlah Produk Batu Bata Merah, Jumlah *Defect*, Kuat Tekan Batu Bata Merah Bulan Juli - Agustus 2014 (Lanjutan)

Bulan	Hari	Jumlah Produk Batu Bata merah (buah)	Jumlah Produk Batu Bata Merah yang cacat (buah)	Persentase <i>defect</i>	Rata-rata Kuat Tekan
Agustus	17	600	36	6.0%	26.70
	18	550	29	5.3%	26.99
	19	750	47	6.3%	25.98
	20	525	28	5.3%	29.99
	21	525	25	4.8%	29.69
	22	600	37	6.2%	25.43
	23	650	35	5.4%	26.62
	24	700	40	5.7%	25.28
	25	650	38	5.8%	25.89
	TOTAL	15550	864		
	Rata-rata	622	35	5,63 %	26.6723

Sumber: Data Primer Peneliti pada Laboratorium Teknik Sipil Universitas Brawijaya

Berdasarkan data pada Tabel 1.3 diketahui bahwa rata – rata batu bata yang dihasilkan per bulan Juli hingga Agustus 2014 adalah sebanyak 622 batu bata merah setiap harinya dan rata – rata batu bata merah yang cacat per bulan Juli hingga Agustus 2014 adalah sebanyak 35 buah batu bata merah. Dari uraian ini diketahui bahwa persentase batu bata merah yang mempunyai kualitas bagus sebesar 94,37%, sedangkan sisanya sebesar 5,63% merupakan persentase cacat produk batu bata merah yang akan dibuang atau didaur ulang menjadi batu bata merah mentah kembali. Dari hasil persentase tersebut, terdapat beberapa hari dimana kuat tekan tidak mencapai batas minimum standar yaitu pada hari ke – 5, 6, 7, 10, 11, dan 14. Hal ini mengakibatkan kerugian yang cukup besar yang diterima oleh pengrajin batu bata merah di Cemorokandang. Menurut Bapak Sugimin, kerugian yang diterima sebesar Rp 274.500,00 – Rp 500.000,00 per 16 hari (1 bulan produksi dengan tidak memperhitungkan lama waktu pengeringan) atau mengalami kerugian dalam proses produksi batu bata merah dalam dua sampai tiga hari. Selain itu, dari hasil kuat tekan batu bata didapatkan rata-rata kuat tekan sebesar $26,67 \text{ kg/cm}^2$, yaitu berada pada kelas 25 dengan kuat tekan minimum 25 kg/cm^2 . Hasil ini hanya berada $1,67 \text{ kg/cm}^2$ dari kelas minimum standar kuat tekan SII-0021-78. Hasil dan kerugian ini dikarenakan kurangnya pengetahuan pengrajin mengenai pentingnya kuat tekan batu bata merah, sehingga menganggap produk yang cacat tidak dapat digunakan lagi walaupun hanya memiliki sedikit cacat dan tidak mepedulikan kualitas kuat tekan batu bata merah.

Berdasarkan uraian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui faktor apa saja yang dapat mempengaruhi kualitas produk industri batu bata merah khususnya kualitas pada kuat tekan batu bata merah dan adanya penambahan bahan baku pendukung pembuatan batu bata merah yaitu serbuk kayu. Penggunaan

serbuk kayu dikarenakan adanya limbah serbuk kayu disekitar rumah pengrajin yang tidak terpakai dan biasanya dibuang ke aliran sungai disekitar rumah pengrajin batu bata. Serbuk kayu ini berasal dari penggergajian kayu yang dihasilkan dari alat gergaji manual ataupun mesin yang digunakan oleh industri mebel di dekat rumah pengrajin batu bata. Serbuk kayu ini juga mengganggu warga sekitar karena dapat mengotori area rumah warga dan mengganggu pernafasan warga sekitar. Maka dari itu, peneliti mencoba mengkombinasikan serbuk kayu dan bahan utama batu bata yaitu tanah liat dan abu hasil pembakaran tebu untuk menciptakan batu bata yang diharapkan memiliki kualitas lebih baik yang sesuai dengan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78, sehingga dapat menurunkan jumlah *defect* produk pada proses produksinya. Pemilihan serbuk kayu dari hasil gergaji juga didasari dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh Hartono (2011) yang membahas mengenai manfaat limbah serbuk kayu hasil gergaji yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti pasir untuk peningkatan kuat tekan pada pembuatan batu bata dan dari hasil penelitian ini, batu bata memiliki kuat tekan sebesar $25,55 \text{ kg/cm}^2$ atau lebih dari kuat tekan kelas 25 yang diizinkan pada Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 daripada hasil pengukuran kuat tekan tanpa menggunakan tambahan serbuk gergaji yaitu sebesar 22,35. Pada Penelitian yang dilakukan oleh Handayani (2010), mengatakan bahwa penambahan serbuk gergaji yang dianjurkan untuk peningkatan kuat tekan batu bata dengan proporsi sebesar 0% - 10%. Keuntungan dari penambahan serbuk gergaji dengan proporsi tersebut adalah, kuat tekan batu bata yang dihasilkan akan menghasilkan batu bata yang memiliki berat lebih ringan dan mampu menghasilkan kuat tekan batu bata berkisar antara $25,72612 \text{ kg/cm}^2$ sampai $32,5925 \text{ kg/cm}^2$.

Metode yang digunakan adalah metode *Six Sigma* yang didukung oleh penerapan fase *Define, Measure, Analyse, Improve*, dan *Control* (DMAIC) disertai dengan menggunakan pendekatan Metode *Taguchi*. *Six Sigma* berfungsi untuk meningkatkan kualitas proses produksi dengan mengurangi tingkat *defect* pada kualitas atribut maupun kualitas variabel. Penelitian ini difokuskan pada fungsi *six sigma* kualitas variabel produk, dikarenakan kurangnya perhatian pengrajin terhadap pentingnya kuat tekan batu bata merah yang bertujuan untuk mengurangi kerugian karena sifat subyektif yang selalu diterapkan pengrajin sebelumnya.

Pengendalian kualitas yang dilakukan dalam penelitian ini digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam mencapai kestabilan proses dan Analisa Kapabilitas Proses (AKP) untuk mengukur keseragaman proses dalam menghasilkan produk. Lalu

metode yang digunakan selanjutnya pada fase *Improve*, yaitu Desain Eksperimen. Pada Tabel 1.4 adalah tabel perbandingan metode Desain Eksperimen (Ariani, 2004) :

Tabel 1.4 Perbandingan Metode Desain Eksperimen

Desain Eksperimen	Karakteristik
Desain Acak Sempurna (DAS)	Perlakuan diterapkan pada semua eksperimen atau sebaliknya dan tidak ada batasan pengacakan atau pemblokkan
Desain Blok Lengkap Acak (DBLA)	Pemblokkan terhadap eksperimen sehingga eksperimen bersifat homogeny dan jumlah blok eksperimen sama dengan banyak perlakuan.
Desain Blok Tak Lengkap Acak (DBTLA)	Tidak ada batasan pemblokkan, dikarenakan perlakuan terhadap eksperimen diletakkan didalam dan diluar blok eksperimen
Desain Bujursangkar Latin (DBSL)	Tiap perlakuan terdapat satu dan hanya satu kali dalam setiap baris dan kolom, sehingga memiliki kolom dan baris sama.
Desain Bujursangkar Greco Latin (DBSGL)	Sama seperti DBSL, tetapi ada tambahan huruf latin dan huruf greek
Desain Bujursangkar Youden (DBSY)	Memiliki jumlah kolom dan baris yang berbeda dan memiliki nilai dalam nilai setiap kolom atau baris.
Desain Faktorial 2^k dan 3^k	Terdapat kombinasi dari semua atau hampir semua faktor terhadap faktor lain yang ada dalam eksperimen itu. Sehingga melakukan eksperimen jauh lebih banyak.
Taguchi	Memperbaiki kualitas produk dan proses, menekan biaya dan <i>resources</i> seminimal mungkin dikarenakan metode <i>Taguchi</i> melakukan lebih sedikit eksperimen dibandingkan eksperimen lain.

Metode *Taguchi* dalam penerapan metode *Six Sigma* dirasa sangat sesuai, hal ini dikarenakan metode *Taguchi* merupakan sebuah metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin dikarenakan metode *Taguchi* melakukan lebih sedikit eksperimen dibandingkan eksperimen lain. Sasaran metode *Taguchi* adalah *Robust Design*, sehingga rancangan eksperimen yang dilakukan tidak sensitif terhadap variasi yang disebabkan oleh gangguan faktor lain.

Penggunaan Metode *Taguchi* dan *Six Sigma* dengan siklus DMAIC yang dilakukan terhadap faktor yang berpengaruh diharapkan mampu menghasilkan level faktor yang optimal. Sehingga dapat mengetahui apakah kuat tekan yang dihasilkan dari adanya penambahan serbuk kayu dari hasil gergaji ini dapat sesuai dengan standar yang telah dimiliki oleh Indonesia, serta membantu untuk mengurangi kerugian yang didapatkan industri batu bata merah di Cemorokandang, Malang.

1.2 IDENTIFIKASI MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka permasalahan yang dapat diidentifikasi adalah :

1. Kurangnya pengetahuan mengenai pentingnya kuat tekan pada batu bata merah, sehingga cacat yang dimiliki produk dianggap tidak bisa digunakan kembali.
2. Adanya limbah serbuk kayu dari industri mebel di sekitar rumah pengrajin yang mencemari lingkungan dan tidak pernah dimanfaatkan sebelumnya.

3. Belum diketahui pasti faktor – faktor berpengaruh yang menyebabkan terjadinya tidak sesuainya kuat tekan batu bata merah dengan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78.
4. Belum adanya suatu sistem perbaikan yang tepat untuk memperbaiki proses produksi yang dapat menyebabkan lemahnya kuat tekan batu bata merah.

1.3 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang permasalahan dan identifikasi masalah yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Apa saja yang menjadi Critical to Quality (CTQ) berdasarkan data variabel pada produksi batu bata merah di Cemorokandang?
2. Berapa nilai *Defect Per Million Opportunity* (DPMO) dan level sigma pada kondisi aktual?
3. Faktor apa saja yang mempengaruhi kualitas kuat tekan batu bata pada setiap CTQ yang berpengaruh terhadap kualitas produk batu bata merah di Cemorokandang?
4. Bagaimana kombinasi level faktor yang optimal sehingga mampu meningkatkan kuat tekan produk pada proses produksi batu bata merah di Cemorokandang dengan adanya penambahan bahan baku serbuk kayu?
5. Berapa nilai *Defect Per Million Opportunity* (DPMO) dan level sigma pada kondisi optimal setelah dilakukan fase *Improve* dengan Metode *Taguchi*?

1.4 BATASAN PENELITIAN

Agar hasil penelitian sesuai dengan permasalahan yang ada, maka diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Penelitian ini menggunakan siklus DMAIC sebanyak 1 kali dan tidak memperhatikan biaya keseluruhan dalam proses DMAIC.
2. Pengendalian kualitas proses produksi dan karakteristik kualitas pada Metode *Taguchi* yang digunakan adalah data variabel kuat tekan batu bata.
3. Tidak membahas sifat kimia (kandungan batu bata) dan sifat fisik (jenis kerusakan fisik batu bata) sebelum dan sesudah pembuatan batu bata merah.
4. Tidak memperhatikan kandungan air dari bahan baku tanah liat.

1.5 ASUMSI

Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian, sebagai berikut :

1. Proses pengambilan data untuk penelitian dilakukan pada saat proses produksi berjalan dalam keadaan normal.
2. *Signal factor* dan *Control Factor* diasumsikan seragam pada saat analisa *noise factor* dalam Metode *Taguchi*.
3. Kondisi permukaan batu bata merah dalam keadaan rata saat pengujian kuat tekan.

1.6 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibuat, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan CTQ berdasarkan data variabel kuat tekan yang diambil pada produk Batu Bata Merah di Cemorokandang.
2. Mengetahui nilai *Defect Per Million Opportunity* (DPMO) dan level sigma pada kondisi aktual.
3. Menganalisis faktor yang mempengaruhi kualitas kuat tekan pada setiap CTQ yang berpengaruh terhadap kualitas Batu Bata Merah dengan adanya bahan tambahan serbuk gergaji di Cemorokandang.
4. Menentukan setting level optimal dari faktor yang berpengaruh, sehingga dapat meningkatkan kuat tekan batu bata pada produk Batu Bata Merah di Cemorokandang dengan menggunakan bahan baku tambahan serbuk kayu pada metode *Taguchi*.
5. Mengetahui nilai *Defect Per Million Opportunity* (DPMO) dan level sigma pada kondisi optimal setelah dilakukan fase *Improve* dengan Metode *Taguchi*.

1.7 MANFAAT PENELITIAN

Berdasarkan tujuan dari penelitian, maka manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui penyebab tidak sesuainya kuat tekan batu bata milik Bapak Sugimin dengan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 dari hasil analisa CTQ data variabel.
2. Dapat mengetahui peningkatan kualitas kuat tekan batu bata merah dari nilai *Defect Per Million Opportunity* (DPMO) dan level sigma pada kondisi aktual dan optimal pada saat sebelum dan setelah dilakukan fase *Improve* dengan Metode *Taguchi*.
3. Mengetahui *setting level optimal* dari faktor – faktor terbaik yang berpengaruh sebagai landasan proses yang dapat digunakan pengrajin dalam peningkatan kualitas kuat tekan batu bata merah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian yang akan dilaksanakan diperlukan dasar-dasar argumentasi ilmiah yang berhubungan dengan konsep-konsep yang diperlukankan dalam penelitian dan akan dipakai dalam analisis. Dalam bab ini akan dijelaskan beberapa dasar-dasar argumentasi atau teori yang digunakan dalam penelitian.

2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Beberapa penelitian telah dilakukan yang berhubungan dengan metode *Six Sigma* dan Metode *Taguchi* yang dapat dijadikan referensi dalam penelitian ini. Berikut ini merupakan *review* dari beberapa penelitian sebelumnya:

1. Sharma (2014), menggunakan DMAIC untuk meningkatkan tingkat kemampuan proses pada operasi *stub-end-hole* pada proses manufaktur *crankshaft* dan Pengendalian Kualitas untuk mencari penyelesaian dari buruknya kinerja proses, dan didukung dengan penggunaan diagram Sebab Akibat dan ANOVA untuk mencari tahu tingkat pengaruh dari buruknya proses tersebut. Hasil dari penelitian ini adalah meningkatnya tingkat kapabilitas potensial pada proses (CP) yang awalnya bernilai 1,29 menjadi 2,02 dan meningkatkan indeks kapabilitas performansi proses (CPK) yang awalnya berniali 0,32 menjadi 1,45.
2. Xiao (2014), dalam penelitiannya menjabarkan mengenai penggabungan metode antara CFD (*Computational Fluid Dynamics*), *Taguchi*, dan ANOVA untuk mengidentifikasi efek gabungan dari EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), kuantitas bahan bakar, dan waktu yang digunakan untuk melakukan injeksi utama. Hasil dari penelitian ini adalah didapatkan kombinasi faktor optimum dan hasil dari penggabungan ketiga metode tersebut khususnya *Taguchi* disertai ANOVA menjadi metode yang baik untuk menghemat waktu dan biaya secara signifikan.
3. Putra (2014), dalam penelitiannya berisi tentang penggunaan *silica Fume* Limbah *Sandblasting* yang dianggap limbah perusahaan untuk dijadikan bahan baku tambahan yang digunakan untuk meningkatkan kuat tekan batako pejal. Penelitian ini menggunakan Metode *Taguchi* dengan ANOVA data Variabel dan S/N Rasio. Hasil dari penelitian ini adalah faktor yang memiliki tingkat signifikan lebih terhadap kuat tekan batako pada eksperimen ini yaitu rasio air semen (f.a.s) dan agregat (40%:60%), rasio faktor air semen (f.a.s) (45%:55%), rasio agregat kasar (kerikil)

dan agregat halus (pasir) dengan (25%:75%), rasio silica fume dan semen (30%:70%). Dengan nilai kuat tekan sebesar 10,72 Mpa.

4. Permatasari (2013), dalam penelitiannya menggunakan pendekatan *Six Sigma* dengan menggunakan DMAIC untuk melakukan identifikasi permasalahan. Dari hasil identifikasi, didapatkan hasil bahwa terdapat 5 CTQ (*Critical to Quality*) yaitu genteng retak, pecah, gopel, gosong, dan keropos. Setelah itu, dilakukan penjabaran permasalahan menggunakan diagram Sebab Akibat yang dilanjutkan dengan eksperimen *Taguchi*. Hasil dari penelitian ini adalah meningkatnya nilai level sigma pada setiap CTQ, terjadi penurunan presentase cacat dari 11,96% menjadi 6,88%, dan nilai QLF (*Quality Loss Function*) mengalami penurunan pada kondisi aktual.

Dari keempat penelitian di atas yang menjadi dasar perbedaan antara penelitian ini dengan penelitian terdahulu dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Terdahulu

Karakteristik Penelitian	Peneliti				
	Sharma (2014)	Xiao (2014)	Putra (2014)	Permatasari (2013)	Penelitian ini
Objek Penelitian	Proses Manufaktur <i>crankshaft</i>	<i>Light Duty Diesel Engine</i>	<i>Batako Pejal</i>	Genteng Tanah Liat Konvensional	Batu Bata Merah
Parameter yang diamati	Tingkat Kapabilitas Potensial pada Proses (CP) dan Indeks Kapabilitas Performansi Proses (CPK)	Persentase Penggunaan Bahan Bakar dan Waktu	Kuat Tekan <i>Batako Pejal</i> dengan Penambahan Silica Fume Limbah Sandblasting	Presentase Cacat	Kuat Tekat Batu Bata dengan penambahan serbuk gergaji
Metode Penelitian	<i>Six Sigma</i> (DMAIC), SPC (Statistical Process Control), FMEA (Failur Modes and Effect Analysis), dan ANOVA	CFD (Computational Fluid Dynamics), Metode <i>Taguchi</i> (ANOVA untuk data variabel, S/N Ratio)	Metode <i>Taguchi</i> (ANOVA untuk data variabel, S/N Ratio)	<i>Six Sigma</i> (DMAIC) dengan pendekatan metode <i>Taguchi</i> (ANOVA untuk data atribut, S/N Ratio <i>fraction defective</i>), dan Quality Loss Function	Siklus DMAIC dengan pendekatan metode <i>Taguchi</i> (ANOVA untuk data variabel, S/N Ratio)

2.2 KUALITAS

Hal pertama yang harus diperhatikan untuk memenuhi kepuasan pelanggan yaitu kualitas. Kualitas yang diperhatikan bukan hanya bagaimana akhir dari produk tersebut, tetapi dari seluruh komponen didalamnya, baik bahan baku, proses produksi, distribusi, penjaminan produk, dan lainnya. Kualitas adalah kata yang

sering didengar oleh banyak orang dan kualitas memiliki banyak sekali definisi yang berbeda – beda. Berikut ini adalah beberapa definisi kualitas yang muncul dari para ahli, yaitu (Ariani, 2004) :

1. Juran (1962) : “Kualitas adalah kesesuaian dengan tujuan atau manfaatnya”.
2. Feigenbaum (1991) : “Kualitas merupakan keseluruhan karakteristik produk dan jasa yang meliputi *marketing, engineering, manufacture*, dan *maintenance*, dalam mana produk dan jasa tersebut dalam pemakaiannya akan sesuai dengan kebutuhan dan harapan pelanggan”.
3. Goetch dan Davis (1995) : “Kualitas adalah suatu kondisi dinamis yang berkaitan dengan produk, pelayanan, orang, proses, dan lingkungan yang memenuhi atau melebihi apa yang diharapkan”.
4. Perbendaharaan istilah *ISO 8402* dan dari Standar Nasional Indonesia (SNI 19-8402-1991) : “Kualitas adalah keseluruhan ciri dan karakteristik produk atau jasa yang kemampuannya dapat memuaskan kebutuhan, baik yang dinyatakan secara tegas maupun tersamar. Istilah kebutuhan diartikan sebagai spesifikasi yang tercantum dalam kontrak maupun kriteria – kriteria yang harus didefinisikan terlebih dahulu.”

Selain itu, definisi kualitas menurut Taguchi adalah terdapat dua segi umum, yaitu kualitas rancangan dan kualitas kecocokan (Soejanto, 2003). Sedangkan definisi kualitas suatu produk menurut Taguchi adalah kerugian minimum yang diperoleh masyarakat dari suatu produk sejak produk tersebut dikirim (Belavendram, 1995).

2.3 SIX SIGMA

Six Sigma adalah sebuah metode yang digunakan untuk meningkatkan produktivitas dan keuntungan serta metode yang dapat membantu perusahaan untuk mencapai tingkat kegagalan produk nol (*zero defect*). Definisi *Six Sigma* Motorola (*Motorola's Six Sigma*) merupakan suatu metode atau teknik pengendalian dan peningkatan kualitas dramatik yang diterapkan perusahaan Motorola sejak tahun 1986 (Gaspersz, 2002). Istilah *Six Sigma* diambil dari huruf abjad Yunani (σ) yang digunakan untuk menggambarkan variabilitas dan memiliki target 3,4 *Defect Per Million Opportunities* (DPMO) yang diinterpretasikan sebagai dalam satu unit

produk tunggal terdapat rata – rata kesempatan untuk gagal dari suatu karakteristik CTQ (*Critical to Quality*) adalah hanya 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan (Gaspersz, 2002).

2.4 SIKLUS DMAIC

Program peningkatan kualitas *Six Sigma* dapat dilaksanakan menggunakan pendekatan DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, dan Control*). DMAIC merupakan proses sistematis dan mengacu pada fakta untuk melakukan perbaikan terus menerus menuju target *Six Sigma* (Gaspersz, 2002).

2.4.1 Fase *Define*

Fase *Define (D)* merupakan langkah operasional pertama dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada tahap ini kita mendefinisikan beberapa hal yang terkait dengan *define*, yaitu (Gaspersz, 2002) :

1. Kriteria pemilihan proyek *Six Sigma*.
2. Peran dan tanggung jawab dari orang yang akan terlibat dalam proyek *Six Sigma*.
3. Kebutuhan pelatihan untuk orang yang terlibat dalam proyek *Six Sigma*.
4. Proses – proses kunci dalam proyek *Six Sigma* beserta pelanggannya.
5. Kebutuhan spesifik dari pelanggan.
6. Pernyataan tujuan proyek *Six Sigma*.

2.4.2 Fase *Measure*

Fase *Measure* merupakan langkah operasional kedua dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Hasil pengukuran menghasilkan nilai metrik yang menunjukkan kemampuan proses saat ini dan dijadikan tolak ukur perusahaan dalam melakukan tindakan perbaikan. Terdapat tiga hal pokok yang harus dilakukan dalam tahap *Measure (M)*, yaitu (Gaspersz, 2002) :

1. Memilih atau menentukan karakteristik kualitas (CTQ) kunci yang berhubungan langsung dengan kebutuhan spesifik dari pelanggan.
2. Mengembangkan suatu rencana pengumpulan data melalui pengukuran yang dapat dilakukan pada tingkat proses, *ouput*, dan/atau *outcome*.

3. Mengukur kinerja sekarang (*current performance*) pada tingkat proses, *ouput*, dan/atau *outcome* untuk ditetapkan sebagai *baseline* kinerja (*performance baseline*) pada awal proyek Six Sigma.

Dalam terminologi *Six Sigma*, kriteria karakteristik kualitas yang menimbulkan dan/atau memiliki potensi untuk menimbulkan kegagalan atau kecacatan itu disebut CTQ potensial yang menimbulkan kegagalan atau kecacatan (Gaspersz, 2002). Setelah itu, kita dapat melakukan pengukuran CTQ dengan menggunakan *SIPOC* (*Suppliers, Input, Process, Output, Control*).

Pada fase *Measure* juga dilakukan perhitungan untuk data atribut dengan menggunakan Analisa Kapabilitas Proses (AKP). Setelah itu, data variabel yang dapat dihitung dengan menggunakan DPMO (*Defect Per Million Opportunities*) yang merupakan *baseline* kinerja dalam *Six Sigma* dan dapat dikonversikan dalam level sigma (Gaspersz, 2002). Berikut ini rumus perhitungan DPMO untuk data variabel :

Tabel 2.2 Rumus Perhitungan DPMO untuk data Variabel

Langkah	Tindakan	Persamaan
1	Proses apa yang anda ingin tahu?	-
2	Tentukan nilai batas spesifikasi atas (<i>upper specification limit</i>)	USL
3	Tentukan nilai batas spesifikasi bawah (<i>lower specification limit</i>)	LSL
4	Tentukan nilai spesifikasi target	T
5	Berapa nilai rata-rata proses	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$
6	Berapa nilai standart deviasi	$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$
7	Hitung kemungkinan cacat yang berada di atas nilai USL per satu juta kesempatan (DPMO) (nilai z lihat Tabel Lampiran 1)	$P[z \geq (USL - \bar{X}) / \sigma] \times 1.000.000$
8	Hitung kemungkinan cacat yang berada di atas bawah LSL per satu juta kesempatan (DPMO) (nilai z lihat Tabel Lampiran 1)	$P[z \leq (LSL - \bar{X}) / \sigma] \times 1.000.000$
9	Hitung kemungkinan cacat per satu juta kesempatan (DPMO) yang dihasilkan oleh proses diatas	=langkah 7 + langkah 8
10	Konversi DPMO (langkah 9) ke dalam nilai sigma (lihat Tabel Lampiran 2 atau Ms. Excel)	-
11	Hitung kemampuan proses diatas dalam ukuran sigma	-
12	Hitung kapabilitas proses diatas dalam indeks kapabilitas proses	$C_{pm} = \frac{(LSL - T)}{\sqrt{\{3\sqrt{(Xbar - T)^2 + \sigma^2}\}}}$

Sumber:Gaspersz (2002)

Nilai level sigma berdasarkan konsep *Six Sigma* Motorola dapat diperoleh dari tabel nilai konversi DPMO ke nilai *Sigma* atau dapat dihitung menggunakan *Microsoft Excel*. Berikut ini formula perhitungan nilai *Sigma* pada *Microsoft Excel*.

$$\text{Nilai Sigma} = \text{normsin}v \left(\frac{1000000 - DPMO}{1000000} \right) + 1,5 \quad (2-1)$$

Sumber:Gaspersz (2002)

Analisa Kapabilitas Proses pada variabel adalah dengan cara melakukan perhitungan nilai *Cpm* (Indeks Kapabilitas Proses). Analisa Kapabilitas proses adalah salah satu tolak ukur adanya kesesuaian antara proses produksi dengan hasil produksi itu sendiri. Dalam siklus DMAIC pada *Six Sigma*, analisa kapabilitas proses termasuk salah satu cara yang terdapat dalam fase *Measure*. Penerapan analisa kapabilitas proses sesuai dengan tujuan proyek *Six Sigma* itu sendiri yaitu mempunyai kapabilitas proses pada tingkat pengendalian kualitas 6 sigma, sehingga hanya menghasilkan 3,4 kegagalan per satu juta kesempatan. Indeks Kapabilitas Proses (*Cpm*) digunakan untuk mengukur tingkat dimana suatu *output* proses berada pada nilai spesifikasi target kualitas (*T*) yang diinginkan oleh pelanggan. Semakin tinggi nilai *Cpm* menunjukkan bahwa *output* proses semakin mendekati nilai spesifikasi target kualitas (*T*) yang diinginkan oleh pelanggan, yang berarti pula bahwa tingkat kegagalan dari proses semakin berkurang menuju target tingkat kualitas kegagalan nol (*zero defect oriented*). Lalu, adanya perhitungan *Cpmk* (Indeks Kapabilitas *Output* Proses) digunakan untuk mengetahui apakah *output* proses tersebut berada ddidalam batas – batas toleransi atau batas spesifikasi atas dan bawah (*USL* dan *LSL*). Berikut ini adalah rumus penerapan kapabilitas proses (*Cpm*) dan kapabilitas *output* proses (*Cpmk*) untuk data variabel.

$$Cpm = (LSL - T) / \{3\sqrt{(Xbar - T)^2 + \sigma^2}\} \quad (2 - 2)$$

Sumber:Gaspersz (2002)

$$Cpk = \min \left(\frac{(USL - \bar{X})}{3\sigma}; \frac{(\bar{X} - LSL)}{3\sigma} \right) \quad (2 - 3)$$

Sumber:Gaspersz (2002)

$$Cpmk = \frac{Cpk}{\sqrt{1 + \left\{ \frac{Xbar - T}{\sigma} \right\}^2}} \quad (2 - 4)$$

Sumber:Gaspersz (2002)

Keterangan :

Cpm : Indeks Kapabilitas proses

Cpmk : Indeks Kapabilitas *Output* Proses

T : Spesifikasi Target produk

USL : *Upper Spesification Limit*

LSL : *Lower Spesification Limit*

$\bar{X}$: rata – rata dari rata – rata masing – masing kelompok

$\bar{R}$: rata – rata *range*

σ : Standar deviasi

Menurut Gaspersz (2002 : 16), kriteria pengukuran Cpm (*Rule of thumb*) dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma* adalah sebagai berikut:

- a. $Cpm \geq 2$, maka proses dianggap mampu dan kompetitif (perusahaan berkelas dunia)
- b. Cpm antara 1,00 – 1,99, maka proses dianggap cukup mampu, namun perlu upaya giat untuk peningkatan kualitas menuju target perusahaan berkelas dunia yang memiliki tingkat kegagalan sangat kecil menuju nol (*zero defect oriented*). Perusahaan yang memiliki Cpm yang berada 1,00 – 1,99 memiliki kesempatan terbaik dalam melakukan program peningkatan kualitas *Six Sigma*.
- c. $Cpm < 1,00$, maka proses dianggap tidak mampu dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global.

Menurut Gaspersz (2002 : 16), kriteria pengukuran Cpmk (*Rule of thumb*) dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma* adalah sebagai berikut:

- a. $Cpmk \geq 2$, maka proses dianggap memenuhi batas – batas toleransi (batas spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah, USL dan LSL) dan kompetitif (perusahaan berkelas dunia).
- b. Cpmk antara 1,00 – 1,99, maka proses dianggap cukup mampu, namun perlu upaya giat untuk peningkatan kualitas menuju target perusahaan berkelas dunia yang memiliki tingkat kegagalan sangat kecil menuju nol (*zero defect oriented*). Perusahaan yang memiliki Cpm yang berada 1,00 – 1,99 memiliki kesempatan terbaik dalam melakukan program peningkatan kualitas *Six Sigma*.
- c. $Cpmk < 1,00$, maka proses dianggap tidak mampu memenuhi batas – batas toleransi (batas spesifikasi atas dan bawah, USL dan LSL) dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global.

Setelah dilakukannya fase *Improve* dipastikan terdapat perubahan yang terjadi pada *output*, perubahan tersebut yang dapat membuat perubahan pada Target yang ditetapkan oleh perusahaan. Berikut ini adalah perhitungan pergeseran perubahan target yang harus ditetapkan oleh perusahaan.

$$\%Off\ Target = \frac{|Xbar-T|}{USL-LSL} \times 100\% \quad (2-5)$$

Sumber:Gaspersz (2002)

$$\sigma(\%off\ target) = \sqrt{(Xbar - T)^2} \quad (2-6)$$

Sumber:Gaspersz (2002)

2.4.3 Fase Analyze

Fase *Analyze* merupakan langkah operasional ketiga dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Fase ini bertujuan untuk mengetahui lebih jauh mengenai proses dan mengidentifikasi solusi terbaik untuk perbaikan sistem. Pada tahap ini perlu dilakukan beberapa hal berikut (Gaspersz, 2002):

1. Menentukan stabilitas dan kapabilitas/kemampuan dari proses.
2. Menentukan target – target kinerja dari karakteristik kualitas kunci (CTQ) yang akan ditingkatkan dalam proyek *Six Sigma*.
3. Mengidentifikasi sumber – sumber dan akar penyebab atau kegagalan
4. Mengkonversikan banyak kegagalan kedalam biaya kegagalan kualitas (*cost of poor quality*).

2.4.4 Fase Improve

Fase *Improve* merupakan salah satu aktivitas penting dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*, yang berarti dalam hal ini harus memutuskan apa yang harus dicapai (berkaitan dengan target yang ditetapkan), alasan kegunaan (mengapa) rencana tindakan tersebut harus dilakukan, siapa yang bertanggung jawab atas tindakan tersebut, bagaimana melaksanakan rencana tindakan tersebut, dan berapa besar biaya yang dibutuhkan, serta manfaat positif apa yang diterima dari implementasi rencana tersebut (Gaspersz, 2002).

2.4.5 Fase Control

Fase *Control* merupakan tahap operasional terakhir dalam proyek peningkatan kualitas *Six Sigma* dan bertujuan untuk meningkatkan integrasi, institusionalisasi, pembelajaran, dan transfer pengetahuan baru untuk mencapai perbaikan yang diinginkan. Pada tahap ini hasil peningkatan kualitas didokumentasikan dan disebarluaskan, praktek terbaik yang sukses dalam meningkatkan proses distandarisasikan dan disebarluaskan, prosedur didokumentasikan dan dijadikan pedoman kerja standar, serta kepemilikan atau tanggung jawab ditransfer dari Tim

Six Sigma kepada pemilik, yang menandakan bahwa proses *Six Sigma* berakhir (Gaspersz, 2002).

2.5 DIAGRAM SIPOC

SIPOC (*Suppliers – Inputs – Processes – Outputs – Customers*) merupakan diagram yang digunakan untuk mendefinisikan persyaratan pada proses sejak titik awal hingga langkah akhir. SIPOC merupakan akronim dari lima elemen utama dalam sistem kualitas, yaitu (Gaspersz, 2002) :

1. *Suppliers* merupakan orang atau kelompok yang memberikan informasi kunci, material, atau sumber daya lain kepada proses.
2. *Inputs* adalah segala sesuatu yang diberikan oleh *suppliers* kepada proses.
3. *Processes* merupakan sekumpulan langkah yang mentransformasi dan secara ideal, menambah nilai *inputs* (proses transformasi nilai tambah kepada *inputs*).
4. *Outputs* merupakan produk (barang dan/atau jasa) dari suatu proses. Dalam industri *outputs* dapat berupa barang setengah jadi maupun barang jadi (*final product*).
5. *Customers* merupakan orang atau kelompok orang, atau sub-proses yang menerima *outputs*.

2.6 PENGENDALIAN PROSES STATISTIK

Pengendalian Proses Statistik (SPC) adalah sebuah alat yang digunakan untuk pemecahan masalah dalam mencapai stabilitas proses dan meningkatkan kapabilitas dengan mereduksi variasi yang terjadi, hal ini dikarenakan terdapat prinsip yang mendasari, mudah digunakan, memiliki dampak yang signifikan, dan dapat diterapkan pada setiap proses (Montgomery, 2009). Terdapat tujuh alat utama yang lebih dikenal dengan *The Magnificent Seven* atau *Seven Tools*, yaitu (Montgomery, 2009) :

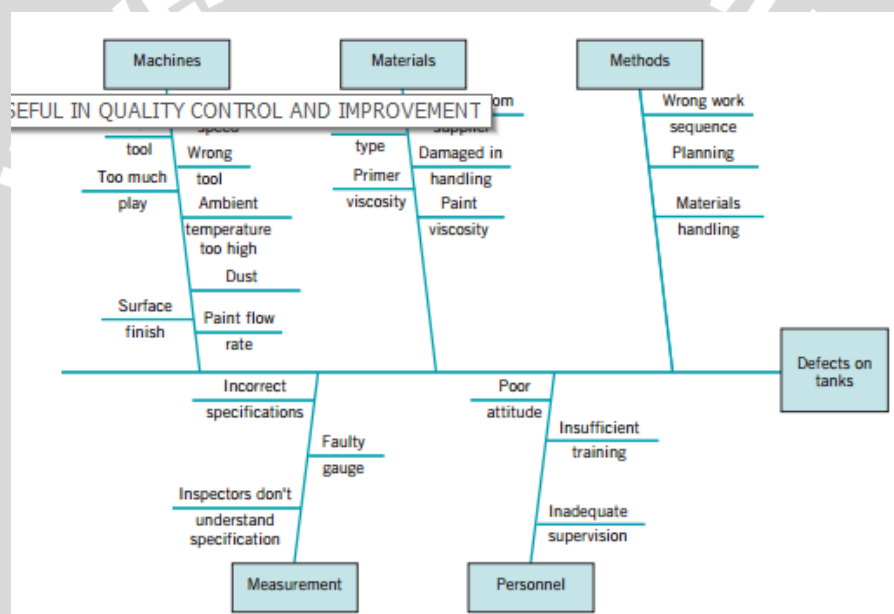
1. Histogram atau *stem-and-leaf plot*
2. *Check Sheet*
3. Diagram Pareto
4. Diagram Sebab – Akibat
5. *Defect Concentration Diagram*
6. *Scatter Diagram*

7. Control Chart

Pada penelitian ini, *Seven Tools* yang digunakan hanya Diagram Sebab Akibat dan *Control Chart* yang akan dijelaskan pada sub-subbab berikutnya.

2.6.1 Diagram Sebab Akibat

Diagram Sebab Akibat ini juga sering disebut sebagai Diagram Ishikawa (sesuai dengan penemunya) atau diagram tulang ikan (dikarenakan diagram yang berbentuk seperti kepala disertai dengan tulang ikan) (Oakland, 2003). Selain itu, adanya interaksi dengan orang yang ahli dalam bidangnya untuk menganalisa lebih dalam mengenai permasalahan yang terjadi, karena sang ahli cenderung pernah mengalami permasalahan sejenis (Montgomery, 2009).

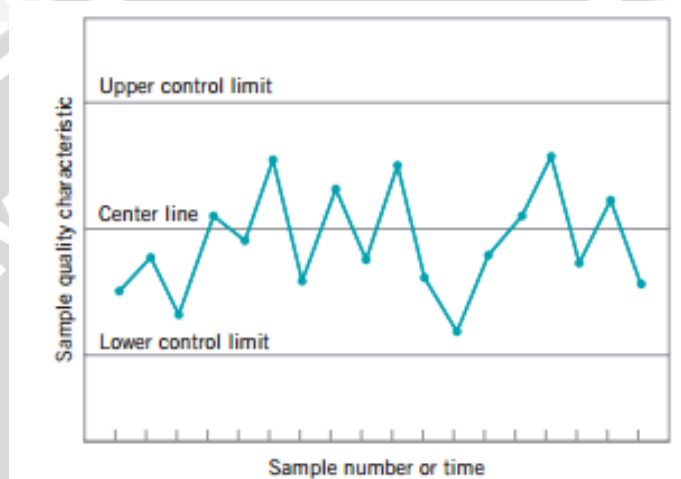


Gambar 2.1 Diagram Sebab Akibat Dengan Kelima Aspek
Sumber : *Introduction to Statistical Quality Control 5th edition* (Montgomery, 2009)

2.6.2 Control Chart

Control Chart adalah tampilan grafis dari karakteristik kualitas yang telah diukur atau dihitung dari sampel yang tersedia. Terdapat tiga batas yang umum digunakan dan dilambangkan dengan garis secara horizontal yaitu Garis Pusat (*Center Line*), Batas Kendali Atas (*Upper Control Limit*), dan Batas Kendali Bawah (*Lower Control Limit*) (Montgomery, 2009). Cara membaca *control chart* ini yaitu selama plot poin berada didalam batas kendali, maka proses ini diasumsikan berada pada batas kendali dan belum diperlukannya suatu penanganan atau disebut

penyebab umum (Montgomery, 2009). Ketika plot poin berada diluar batas kendali baik atas maupun bawah, maka diperlukan tindakan perbaikan pada aspek yang dinilai tidak sesuai dengan sistem atau biasa disebut penyebab khusus (Montgomery, 2009). Peta pengendali kualitas proses statistik untuk menggambarkan variasi atau penyimpangan yang terjadi pada kecenderungan memusat dan penyebaran observasi (Ariani, 2004). Metode ini juga dapat menunjukkan apakah proses dalam kondisi stabil atau tidak.



Gambar 2.2 Control Chart

Sumber : *Introduction to Statistical Quality Control 5th edition* (Montgomery, 2008)

2.6.2.1 Peta Kontrol Variabel X (*Mean*) dan R (*Range*)

Peta pengendali rata-rata merupakan peta pengendali untuk melihat apakah proses masih berada dalam batas pengendalian atau tidak (Ariani, 2004). Selain itu peta pengendalian rata-rata menunjukkan apakah rata-rata yang dihasilkan oleh produk sesuai dengan standar pengendalian yang digunakan perusahaan atau tidak. Menurut Montgomery (2009 : 231), jumlah sampel yang digunakan dalam perhitungan *subgroup* pada *X-Chart* dan *R-Chart* adalah 20 – 25 sample dengan jumlah *trial* sebanyak 3 – 5 replikasi setiap *subgroup*. Berikut ini adalah rumus yang digunakan untuk peta kontrol X (rata-rata).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2-7)$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^g \bar{X}_i}{g} \quad (2-8)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (2-9)$$

Sumber: Ariani (2004)

Dimana :

$\bar{X}$ = rata-rata pada masing - masing kelompok

$\bar{R}$ = rata – rata *range*

x_i = data pada setiap sub kelompok atau sampel yang diambil

n = banyaknya sampel yang diambil dalam tiap observasi

g = banyaknya observasi yang dilakukan

R_i = *range* untuk setiap sub kelompok

$\bar{\bar{X}}$ = rata – rata dari rata – rata masing – masing kelompok

Menurut konsepnya, batas pengendali atas dan batas pengendali bawah untuk peta pengendali rata-rata (*mean chart*) adalah :

$$BPA \bar{X} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (2-10)$$

$$BPB \bar{X} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (2-11)$$

Sumber: Ariani (2004)

Batas pengendali atas dan batas pengendali bawah untuk *Range*, yaitu :

$$BPA \bar{R} = D_4 \cdot \bar{R} \quad (2-12)$$

$$BPB \bar{R} = D_3 \cdot \bar{R} \quad (2-13)$$

Sumber: Ariani (2004)

Sedangkan untuk nilai A_2 , D_3 , D_4 dan dapat dilihat pada tabel yang terlampir pada lampiran 3.

2.7 DESAIN EKSPERIMEN

Menurut Sudjana (1995:1), desain eksperimen adalah suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah tindakan yang betul – betul terdefinisikan) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang diteliti atau dikumpulkan. Dengan kata lain, desain sebuah eksperimen merupakan langkah – langkah lengkap yang perlu diambil jauh sebelum eksperimen dilakukan agar supaya data yang semestinya diperlukan dapat diperoleh, sehingga akan membawa kepada analisis obyektif dan kesimpulan yang berlaku untuk persoalan yang sedang dibahas. Desain eksperimen terdiri atas berbagai macam metode, diantaranya adalah sebagai berikut (Sudjana, 1995):

1. Desain Acak Sempurna
2. Desain Blok Lengkap Acak
3. Desain Blok Tak Lengkap Acak
4. Desain Bujursangkar Latin
5. Desain Bujursangkar Graeco-Latin
6. Desain Bujursangkar Youden
7. Desain Faktorial 2^k dan 3^k
8. Metode Taguchi

Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah Metode Taguchi yang akan dijelaskan pada sub-bab 2.7.1.

2.7.1 Metode Taguchi

Metode Taguchi dikembangkan oleh Genichi Taguchi, yang digunakan untuk memperbaiki penerapan *Total Quality Control* di Jepang. Metode Taguchi merupakan suatu metodologi dalam bidang teknik yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu yang bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Metode Taguchi menjadikan produk atau proses bersifat kokoh (*robust*) terhadap faktor pengganggu (*noise*), karenanya metode ini disebut juga sebagai perancangan kokoh (*robust design*) (Soejanto, 2008).

Metode Taguchi adalah metode atau teknik pengendalian kualitas yang bersifat *offline* atau bersifat suatu usaha perbaikan kualitas yang dimulai sejak saat melakukan perancangan hingga pemrosesan. Menurut Ariani (2004:67) penggunaan Taguchi *offline* tersebut efektif untuk mengadakan perbaikan kualitas dan pengurangan biaya, perbaikan dalam pembuatan produk, serta pengurangan biaya pengembangan produk. Tujuan ini akan dapat tercapai jika organisasi manufaktur mampu mengidentifikasi adanya faktor – faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas dengan menyesuaikan faktor – faktor tersebut pada tingkat atau *level* yang sesuai (Belavendram, 1995).

Berikut ini adalah langkah – langkah desain eksperimen *Taguchi*, yaitu (Soejanto, 2008) :

1. Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan
Mendefinisikan permasalahan yang akan dihadapi dengan se jelas mungkin agar dapat dilakukan suatu upaya perbaikan dari masalah yang dihadapi.
2. Menentukan tujuan penelitian
Untuk menentukan tujuan penelitian diperlukan mengidentifikasi karakteristik kualitas serta tingkat performansi dari suatu eksperimen.
3. Menentukan metode pengukuran
Menentukan parameter – parameter yang akan diamati, bagaimana cara pengukurannya, dan peralatan apa saja yang diperlukan dalam eksperimen.
4. Identifikasi faktor
Untuk mengidentifikasi faktor yaitu melakukan pendekatan yang sistematis dengan tujuan menemukan suatu penyebab permasalahan yang dihadapi.
5. Memisahkan faktor *control* dan faktor *noise*

Untuk memulai melakukan desain eksperimen *Taguchi*, seharusnya mengetahui faktor – faktor apa saja yang mempengaruhi produk menjadi dua jenis faktor yaitu faktor *control* dan faktor *noise*.

6. Menentukan level dari faktor dan nilai faktor

Dalam penentuan level dari faktor menentukan jumlah derajat kebebasan yang akan digunakan sebagai pemilihan *Orthogonal Array* yang akan digunakan dalam eksperimen.

7. Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi

Suatu interaksi terjadi apabila pengaruh dari suatu faktor tergantung dari level faktor yang lainnya.

8. Menggambar *linier graf* yang diperlukan untuk faktor *control* dan interaksi

Menentukan penempatan faktor serta interaksi yang mungkin digunakan pada kolom – kolom *Orthogonal Array*. *Taguchi* sudah menentukan *linier graf* yang digunakan untuk mempermudah pengaturan faktor – faktor dan interaksi.

9. Pemilihan *Orthogonal Array*

Dalam pemilihan *Orthogonal Array* yang sesuai tergantung dari nilai faktor dan interaksi yang diharapkan dan nilai level dari tiap faktor. Untuk menentukan jumlah derajat kebebasan yang berguna untuk menentukan *Orthogonal Array* mana yang akan dipakai pada eksperimen.

10. Memasukkan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom

Untuk memasukkan faktor dalam kolom *Taguchi* menyediakan dua alat bantu yaitu dapat menggunakan *linier graf* atau *triangular tables*.

11. Melakukan eksperimen

Sejumlah percobaan akan disusun untuk meminimasi kesalahan yang mungkin terjadi pada penyusunan level yang tepat untuk eksperimen.

12. Analisa hasil eksperimen

Menganalisa hasil eksperimen yang telah dilakukan *Taguchi* menggunakan ANOVA. Ada beberapa hal yang dilakukan pada tahapan ini, yaitu :

a. *Pooling* faktor

Metode yang dilakukan apabila faktor yang diamati tidak signifikan secara statistik setelah pengujian signifikansi.

b. Persen Kontribusi

Bagian dari total variasi yang diamati pada eksperimen dari masing – masing faktor yang signifikan pada metode *Taguchi* dinyatakan dalam persen kontribusi. Menandakan kekuatan relatif dari suatu faktor untuk mereduksi variasi.

c. *Signal to Noise Ratio (S/N Ratio)*

Taguchi memperkenalkan pendekatan S/N untuk meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul.

13. Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal

Jika eksperimen terdiri dari beberapa faktor dan juga tiap – tiap faktor terdiri dari beberapa level faktor, maka pemilihan kombinasi level yang optimal adalah dengan membandingkan nilai perbedaan rata – rata eksperimen dari level yang ada.

14. Perkiraan rata – rata pada kondisi optimal

Setelah mendapatkan kondisi yang optimal dari eksperimen dengan *orthogonal array* maka dapat diperkirakan rata – rata proses untuk prediksi kondisi yang optimal.

15. Menjalankan eksperimen konfirmasi

Dimaksudkan agar faktor dan level yang diinginkan memberikan hasil yang diharapkan.

2.7.2 Orthogonal Array

Matriks ortogonal yaitu suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris (kombinasi level dari faktor dalam eksperimen) dan kolom (faktor yang dapat diubah dalam eksperimen) (Soejanto, 2008). Penentuan matriks ortogonal yang sesuai dengan eksperimen, perlu dilakukan prosedur sebagai berikut (Soejanto, 2008) :

1. Definisikan jumlah faktor dan levelnya
2. Tentukan derajat kebebasannya

Derajat kebebasan adalah sebuah konsep yang mendeskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut (Soejanto, 2008). Dalam menentukan jumlah eksperimen yang akan diamati adalah sebagai berikut (Soejanto, 2008):

$$V_{OA} = (\text{banyaknya eksperimen} - 1)$$

$$V_{fi} = (\text{banyaknya faktor}) \times (\text{banyaknya level} - 1)$$

$$V_{OA} \geq V_{fi}$$

Sumber: Soejanto (2008)

(2-14)

3. Memilih matriks ortogonal

Dalam memilih matriks ortogonal yang cocok atau sesuai diperlukan suatu persamaan dari matriks ortogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level, dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Bentuk umum dari model matrik sortogonal adalah (Soejanto, 2008):

$$La(b^c) \quad (2-15)$$

Sumber: Soejanto (2008)

Dimana :

L = rancangan bujur sangkar latin

a = banyak baris / eksperimen

b = banyak level faktor

c = banyak faktor

Taguchi telah menyediakan beberapa matriks ortogonal sesuai dengan kebutuhan eksperimen yang akan dilakukan. Pada Tabel 2.3 berikut ini merupakan bentuk standar matrik ortogonal menurut *Taguchi*.

Tabel 2.3 Orthogonal Array Standar

2 Level	3 Level	4 Level	5 Level	Level gabungan
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(2^5)$	$L_{23}(5^6)$	$L_{18}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$	-	$L_{32}(2^1 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$	-	-	$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$	-	-	-	$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$	-	-	-	$L_{54}(2^1 \times 3^{25})$

Sumber: Soejanto (2008)

2.7.3 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik kualitas (variabel respon) adalah obyek yang menarik dari produk atau proses, terkadang disebut sebagai karakteristik fungsional (Belavendram, 1995). Pada dasarnya karakteristik kualitas memiliki target. Berikut ini adalah tiga tipe target pada karakteristik kualitas menurut Belavendram (1995) yang ditampilkan pada Tabel 2.4.

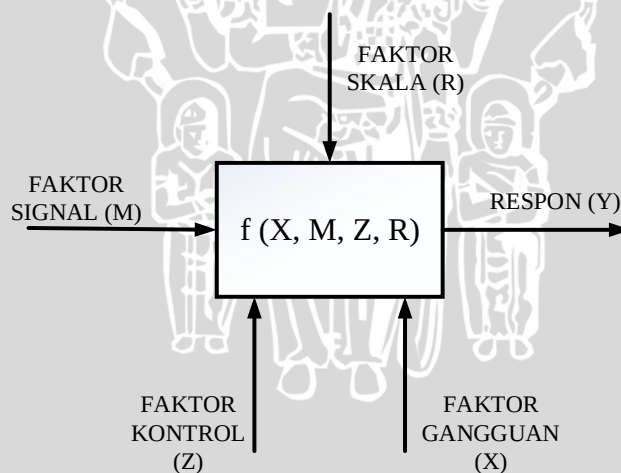
Tabel 2.4 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Karakteristik	Target
<i>Nominal the best</i>	terukur dengan nilai target yang ditentukan secara spesifik
<i>Smaller the better</i>	terukur non-negatif yang mempunyai kondisi ideal atau nilai target adalah nol (0)
<i>Larger the better</i>	terukur non-negatif yang mempunyai kondisi ideal atau nilai target <i>infinite</i> atau tak terbatas

2.7.4 Klasifikasi Parameter

Banyak faktor lain yang dapat mempengaruhi karakteristik kualitas (variabel respon) dari suatu produk. Faktor – faktor tersebut dapat diklasifikasikan menjadi (Soejanto, 2008) :

1. Faktor Gangguan, merupakan suatu parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari targetnya. Faktor ini menyebabkan pengaruh pada karakteristik secara tidak terkendali dan sulit terprediksi serta bersifat biasanya sulit, mahal, dan tidak jadi sasaran pengendalian, tetapi untuk tujuan eksperimen, maka perlu dikendalikan dalam skala kecil.
2. Faktor Kontrol, merupakan parameter yang nilainya ditentukan oleh ahli teknik. Faktor ini mempunyai satu atau lebih nilai yang disebut level faktor. Salah satu aspek dari perancangan kokoh adalah mencari kondisi level optimal untuk faktor kontrol sehingga karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap gangguan.
3. Faktor Sinyal, faktor yang mengubah nilai karakteristik kualitas yang sebenarnya akan diukur. Karakteristik kualitas dalam perancangan eksperimen dimana faktor sinyal mempunyai nilai konstan disebut karakteristik statis dan dinamis saat dimasukkan ke banyak nilai.
4. Faktor Skala, faktor ini sering disebut sebagai faktor penyelesaian. Faktor ini digunakan untuk mengubah rata-rata level karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional yang diperlukan antara faktor sinyal dengan karakteristik kualitas.



Gambar 2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Karakteristik Kualitas
Sumber: Soejanto (2008)

2.7.5 Signal Noise to Ratio (S/N Ratio)

Metode *Taguchi* telah mengembangkan konsep *S/N Ratio* untuk eksperimen yang melibatkan banyak faktor dan eksperimen ini disebut dengan eksperimen faktor ganda. *S/N Ratio* diformulasikan sedemikian rupa agar peneliti selalu dapat memilih nilai level faktor terbesar untuk mengoptimalkan karakteristik kualitas dari eksperimen. Tujuan dari *S/N*

Ratio ini adalah untuk meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas terhadap faktor gangguan (Soejanto, 2008).

Karakteristik kualitas adalah hasil dari proses yang berkaitan dengan kualitas. Pada penelitian ini karakteristik dari *S/N Ratio* yang digunakan yaitu *larger the better*. *S/N Ratio-larger the better* digunakan ketika karakteristik kualitas adalah kontinyu, non negatif dan dapat mengambil nilai dari nol sampai tak hingga.. Sehingga untuk produk yang memiliki kuat tekan semakin besar atau setidaknya lebih dari standar kuat tekan tingkat III (60) maka semakin baik produk tersebut. Nilai *S/N Ratio* untuk *larger the better* yaitu :

$$\eta = -10 \log_{10}(MSD) \quad (2-16)$$

Sumber: Belavendram (1995)

$$MSD (Mean Square Deviation) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \quad (2-17)$$

Sumber : Belavendram (1995)

Dimana :

n : jumlah sampel

y : nilai sampel

2.7.6 Analysis of Variance (ANOVA) untuk Data Variabel

ANOVA (*Analysis of Variance*) pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald Fisher, yaitu seorang Ahli statistik British (Belavendram, 1995). ANOVA adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon (Soejanto, 2008). Penggunaan ANOVA pada metode *Taguchi* adalah digunakan sebagai metode statistik untuk menginterpretasikan data – data hasil eksperimen. Sedangkan untuk jenis data hasil pengukuran dapat dianalisis dengan menggunakan *Analysis of Variance for Variabel Data*. Dalam perhitungan pengerjaannya adalah sebagai berikut (Belavendram, 1995) :

1. Membuat tabel data variabel.

Berikut ini adalah Tabel Data Variabel yang ditampilkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tabel Data Variabel

Exp	A	B	...	Replikasi 1	Replikasi 2		Total
1							
2							
K							

Sumber : Belavendram (1995)

2. Jumlah Kuadrat Total (ST), dengan rumus sebagai berikut :

$$SST = \sum y^2 \quad (2-19)$$

Sumber: Belavendram (1995)

Dimana : y adalah data pada setiap replikasi

3. Jumlah kuadrat rata-rata (SS_{mean})

$$SS_{mean} = n \cdot \bar{y}^2 \quad (2-20)$$

Sumber:Belavendram (1995)

Dimana : n adalah total seluruh data replikasi.

4. Jumlah Kuadrat Faktor (SS_A , SS_B , dst)

Sebelum menghitung Jumlah Kuadrat Faktor, langkah awal yaitu membuat tabel respon untuk faktor. Berikut ini adalah *Response Table of Factor Effects* yang ditampilkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 *Response Table of Factor Effects*

Class		A	B	C	N
(I)	Level 1				
	Level 2				
	Level k				

Sumber:Belavendram (1995)

$$SS_A = \left((\bar{A1})^2 \times n1 \right) + \left((\bar{A2})^2 \times n2 \right) + \dots + \left((\bar{Ai})^2 \times ni \right) - SS_{mean} \quad (2-21)$$

Sumber:Belavendram (1995)

5. Jumlah Kuadrat Error (SE)

$$SSE = SST - SS_{mean} - SS_A - SS_B - SS_n \quad (2-22)$$

Sumber:Soejanto (2008)

6. Membuat Tabel ANOVA.

7. Menghitung derajat Kebebasan Faktor

$$v = (\text{number of levels} - 1) \quad (2-23)$$

Sumber:Belavendram (1995)

8. Menghitung Derajat Kebebasan Total

$$v_T = (\text{number of eksperiment} - 1) \quad (2-24)$$

Sumber:Belavendram (1995)

9. Menghitung Rata-rata Jumlah Kuadrat (MS)

$$MS = \frac{SS}{v} \quad (2-25)$$

Sumber:Belavendram (1995)

Perhitungan Ms tidak dilakukan pada Jumlah kuadrat total pada tabel ANOVA.

10. Menghitung Rasio (F -Ratio)

$$F \text{ ratio} = \frac{\text{Ms pada masing-masing faktor}}{\text{Ms Error}} \quad (2-26)$$

Sumber:Soejanto (2008)

11. Mengitung SS' Pada masing-masing faktor

$$SS' \text{ faktor} = SS \text{ faktor} - (v \text{ faktor} \times MS \text{ error}) \quad (2-27)$$

Sumber:Soejanto (2008)

12. Menghitung Rho% (Persentase Rasio Akhir) pada masing-masing faktor

$$\text{Rho\% A} = \frac{SSA'}{SST} \quad (2-28)$$

Sumber:Soejanto (2008)

2.7.7 Interval Kepercayaan

Interval kepercayaan merupakan nilai maksimum dan minimum dimana diharapkan nilai rata-rata sebenarnya akan tetap tercakup dengan beberapa presentase kepercayaan tertentu. Berikut ini interval kepercayaan untuk data variabel pada rata-rata yang diprediksi (*predicted mean*) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\mu_{predicted} = \bar{y} + (faktor\ terpilih\ 1 - \bar{y}) + \dots + (faktor\ terpilih\ n - \bar{y}) \quad (2-29)$$

Sumber:Belavendram (1995)

Dimana :

$\bar{y}$ = rata – rata nilai hasil dari faktor yang terpilih setelah *pooled*

$$Cl_{mean} = \sqrt{\left(F_{\alpha,v1,v2} \times Ve \times \frac{1}{n_{eff}}\right)} \quad (2-30)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of degree of freedom}}{\text{sum of degree of freedom used in estimate of mean}}$$

Sumber:Belavendram (1995)

Dimana :

$F_{\alpha,v1,v2}$ = Nilai *F-ratio* dari tabel

α = 0,05

$v1$ = Derajat kebebasan untuk pembilang yang berhubungan dengan suatu rata-rata.

$v2$ = Derajat kebebasan untuk penyebut yang berhubungan dengan variasi *pooled error*.

ve = variansi *pooled error*.

Berikut ini rumus interval kepercayaan pada tahap *predicted mean*.

$$\mu_{predicted} - CI \leq \mu_{predicted} \leq \mu_{predicted} + CI \quad (2-31)$$

Sumber:Belavendram (1995)

Berikut ini adalah perhitungan *confidence interval – for a confirmation experiment*.

Perhitungan ini dilakukan setelah dilakukan uji konfirmasi.

$$Cl = \sqrt{\left(F_{\alpha,v1,v2} \times Ve \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}\right]\right)} \quad (2-32)$$

Sumber:Belavendram (1995)

Dimana :

$\frac{1}{r}$ = jumlah replikasi yang dilakukan saat uji konfirmasi

Berikut ini rumus interval kepercayaan pada tahap uji konfirmasi.

$$\mu_{confirmation} - CI \leq \mu_{confirmation} \leq \mu_{confirmation} + CI \quad (2-33)$$

Sumber:Belavendram (1995)

2.7.7 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen Konfirmasi dilaksanakan dengan melakukan suatu pengujian yang menggunakan kombinasi tertentu dari faktor – faktor dan level – level hasil evaluasi

sebelumnya dengan tujuan untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisa (Soejanto, 2008). Pada percobaan ini, ukuran sampel yang digunakan lebih besar daripada percobaan sebelumnya. Berikut ini adalah penjelasan dari tujuan eksperimen konfirmasi yang berfungsi sebagai perbandingan nilai interval kepercayaan untuk kondisi optimal dan konfirmasi ditampilkan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Perbandingan Interval Kepercayaan Untuk Kondisi Optimal dan Konfirmasi

Kondisi	perbandingan	Keterangan	Keputusan
A		Predicted	Diterima
		Konfirmasi	
B		Predicted	Diterima
		Konfirmasi	
C		Predicted	Ditolak
		Konfirmasi	

Sumber: Belavendram (1995)

2.8 KARAKTERISTIK SERBUK KAYU

Serbuk kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk kayu hasil gergaji yang mempunyai butiran kecil, sehingga mudah untuk diolah dan mudah didapat. Serbuk gergaji sekarang ini belum banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan karena dianggap limbah atau sampah. Pada umumnya serbuk gergaji dimanfaatkan oleh warga sekitar sebagai bahan bakar pengganti kayu atau dibuang begitu saja.

Serbuk kayu memiliki beberapa fungsi yang dapat meningkatkan kuat tekan batu bata merah menurut Handayani (2010), yaitu serbuk gergaji dapat menjadi pengganti sekam padi pada pembuatan batu bata, serbuk gergaji mampu membuat batu bata merah memiliki bidang yang rata pada setiap sudut sikunya dan tajam, serta kerapuhan 0%. Selain itu, dari segi berat batu bata merah mengalami penurunan (lebih ringan) saat ditambahkan serbuk gergaji dan serbuk gergaji menjadi bahan tambahan yang aman untuk pekerjaan konstruksi, sehingga layak digunakan sebagai bahan bangunan. Sedangkan menurut Hartono (2011), serbuk kayu dapat digunakan sebagai pengganti aggregate halus atau pasir pada pembuatan batu bata semen. Berikut ini adalah beberapa karakteristik yang dimiliki serbuk kayu (Handayani, 2010):

1. Mampu bersubstitusi dengan partikel tanah, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pengikat yang akan mengurangi tingkat keretakan dan kerapuhan
2. Memiliki berat jenis yang lebih kecil dari tanah liat
3. Memiliki kandungan garam < 50%, yang diartikan aman untuk pekerjaan konstruksi

BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah tahap yang harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan penyelesaian masalah yang sedang dibahas. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian agar proses penelitian dapat terarah, terstruktur dan sistematis. Pada bab ini juga akan dibahas mengenai metode penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian, metode pengumpulan data serta langkah-langkah penelitian.

3.1 JENIS PENELITIAN

Menurut Sugiyono (2009 : 3) “Metode Penelitian dapat diartikan sebagai cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu”. Menurut Sugiyono (2009 : 3) “Terdapat beberapa jenis metode penelitian yang dikelompokkan sebagai metode untuk karya ilmiah”, yaitu terdiri atas :

1. Metode Penelitian Eksperimental
2. Metode Deskriptif
3. Metode Evaluatif

Dalam penelitian ini menggunakan Metode Penelitian eksperimental. Hal ini dikarenakan peneliti akan melakukan percobaan secara langsung terhadap objek penelitian. Objek penelitian yang akan dibuat yaitu batu bata merah di Cemorokandang.

3.2 TEMPAT DAN WAKTU PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di industri batu bata merah milik Bapak Sugimin, di Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan Kedung Kandang, Kota Malang pada Bulan September 2014 sampai Januari 2015.

3.3 ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini, alat dan bahan yang diperlukan untuk mendukung berjalannya eksperimen penelitian ini, yaitu :

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Mesin penggiling, untuk mencampurkan tanah liat dan abu hasil pembakaran tebu.
- b. Ember, untuk wadah air.
- c. Gerobak, untuk mengangkut batu bata mentah ke tempat pembakaran.
- d. Cetakan untuk pembuatan batu bata merah.
- e. Bak penggiling, untuk menginjak adonan tanah liat dan abu.
- f. Cangkul, untuk memindahkan tanah liat, serbuk gergaji, dan abu hasil pembakaran tebu.
- g. Timbangan, untuk mengukur komposisi bahan yang digunakan.
- h. Alat press pengukur kuat tekan batu bata.

2. Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini anatar lain :

- a. Tanah liat yang berasal dari area sawah di Desa Cemorokandang, satuan (m^3).
- b. Air, digunakan untuk proses pengairan tanah liat, satuan (m^3).
- c. Abu hasil pembakaran tebu, digunakan sebagai campuran adonan dengan tanah liat, satuan (m^3).
- d. Kayu bakar, untuk proses pembakaran batu bata merah.
- e. Serbuk Gergaji
- f. Minyak tanah
- g. Solar

Untuk mempermudah dalam menjalankan eksperimen ini, semua bahan baku menggunakan satuan kilogram (kg). Bahan baku seperti tanah liat, abu, serbuk kayu dan air maka perlu dikonversikan satuannya menjadi kilogram (kg) dengan mengalikan dengan massa jenisnya masing – masing. Massa jenis air $1kg/m^3$, massa jenis abu $1125 kg/m^3$, serbuk kayu $520 kg/m^3$ dan tanah liat $1800 kg/m^3$.

3.4 PENGUMPULAN DATA

Berikut ini adalah metode pengumpulan data yang dilakukan pada saat penelitian.

3.4.1 Tahap Penelitian Pendahuluan

Pada penelitian pendahuluan meliputi studi pustaka, studi lapangan, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian.

Berikut ini tahap penelitian pendahuluan :

1. Metode penelitian kepustakaan (*Library Research*)

Metode penelitian kepustakaan merupakan suatu metode yang digunakan untuk mendapatkan data dengan cara studi literatur di perpustakaan serta dengan membaca sumber-sumber data informasi lainnya yang berhubungan dengan pembahasan.

2. Metode penelitian lapangan (*Field Research*)

Metode ini digunakan dalam pengumpulan data secara langsung pada objek penelitian, cara yang dipakai dalam *field research* ini adalah :

- a. *Interview*, yaitu pada tahap ini dilakukan interview dengan pengrajin dan para karyawannya untuk mengetahui permasalahan yang terjadi pada saat proses pembuatan batu bata.
- b. *Observasi*, yaitu suatu metode dalam memperoleh data, dengan mengadakan pengamatan langsung terhadap keadaan yang sebenarnya dalam industri batu bata merah.
- c. Dokumentasi, yaitu melakukan pengumpulan data baik secara langsung (foto) dan data historis (data milik pengrajin).
- d. Eksperimen, merupakan cara pengumpulan data dengan melaksanakan percobaan langsung terhadap objek, yaitu pembuatan batu bata merah.
- e. *Brainstroming*, yaitu berdiskusi dan bertukar pikiran dengan pengrajin dan di kombinasikan dengan hasil teori yang dimiliki peneliti untuk mengetahui faktor penyebab permasalahan.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan berdasarkan studi lapangan terhadap objek penelitian dan studi literatur tentang permasalahan yang dihadapi. Pengamatan di lapangan dan wawancara dengan pihak pengrajin batu bata merah akan diperoleh kondisi dimana hal tersebut tidak sesuai dengan pelaksanaannya ataupun hasil yang diperoleh dengan kondisi yang diharapkan. Lalu mendefinisikan permasalahan yaitu menentukan batasan dan asumsi masalah pada penelitian ini. Dari studi literatur akan dipilih metode yang mungkin untuk memecahkan masalah dan dipilih yang sesuai dengan keadaan.

4. Perumusan Masalah

Setelah mengidentifikasi masalah dengan seksama, lalu dilanjutkan dengan merumuskan masalah sesuai dengan kenyataan di lapangan.

5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditentukan berdasarkan perumusan masalah yang telah dijabarkan. Hal ini ditujukan untuk menentukan batasan yang perlu dipahami dalam pengolahan dan analisis hasil pengukuran selanjutnya.

3.4.2 Metode Pengumpulan Data

Jenis data yang dikumpulkan terdiri atas dua jenis dengan metode pengumpulan data sebagai berikut :

1. Data Primer

Data primer adalah sumber data penelitian yaitu data yang diperoleh secara langsung dari sumber. Data primer yang diambil adalah data komposisi pembuatan batu bata merah, data kuat tekan batu bata dari hasil desain eksperimen dengan menggunakan Metode *Taguchi*, dan data lainnya yang mendukung dalam penelitian ini.

2. Data Sekunder

Data sekunder didapatkan melalui hasil wawancara dan diskusi yang dilakukan kepada pihak pengrajin industri batu bata Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan Kedung Kandang, Kota Malang yang dapat memberikan informasi yang berhubungan dengan penelitian. Data sekunder yang dikumpulkan antara lain kriteria *defect* atribut pada batu bata merah, data proses produksi batu bata merah, dan data kuat tekan batu bata merah dengan 4 kali replikasi kuat tekan pada setiap harinya.

3.4.3 Pengolahan Data

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan metode *Six Sigma* dengan siklus DMAIC dan diikuti dengan pendekatan Metode *Taguchi* untuk memperbaiki proses produksi batu bata sehingga dapat mengetahui kualitas kuat tekan produk batu bata dan secara tidak langsung mengurangi produk cacat, selain itu menggunakan alat pengendalian proses statistik dan Analisa Kapabilitas Proses (AKP). Siklus DMAIC pada Metode *Six Sigma* ditunjukkan pada Gambar 3.1. Sedangkan siklus DMAIC dengan pendekatan Metode *Taguchi* ditunjukkan pada Gambar 3.2. Alat pengendalian proses statistik yang digunakan pada penelitian ini yaitu Diagram Sebab Akibat (*Fish Bone*), *Control Chart* dan *Fase control* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.

3.4.4 Analisa dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan dari penelitian ini. Hal ini mengacu pada tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

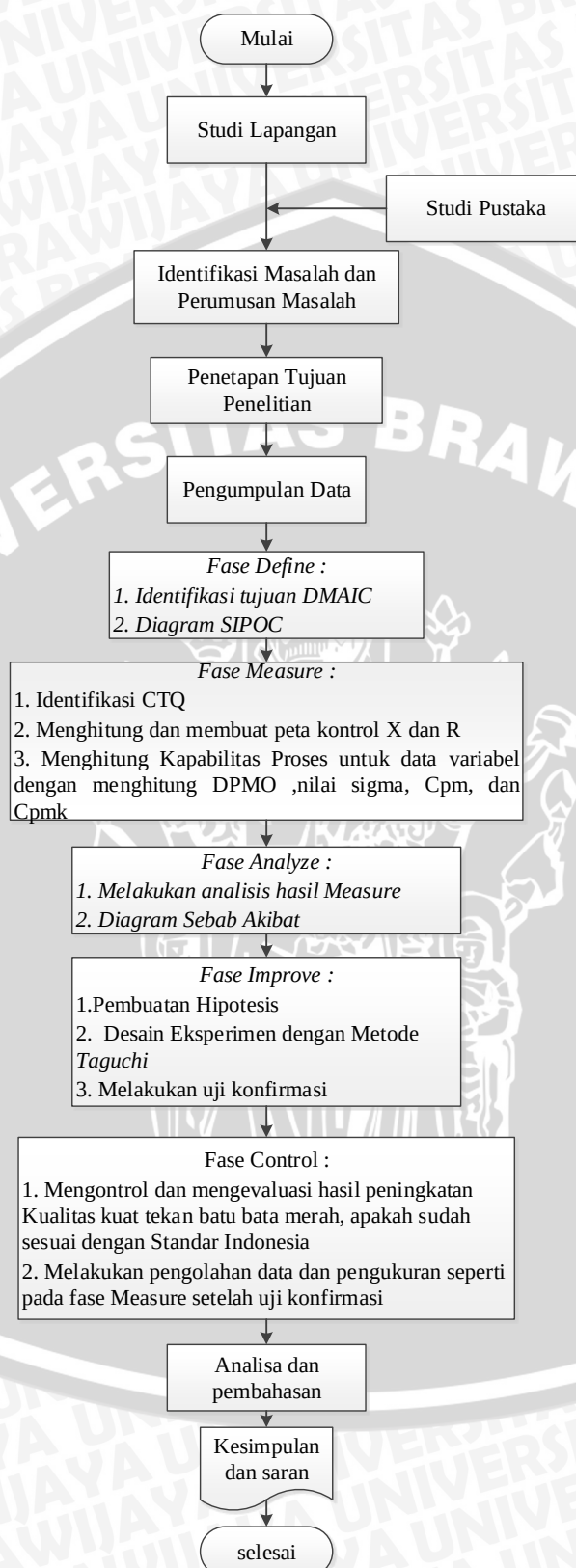
3.5 LANGKAH – LANGKAH PENELITIAN

Berikut ini adalah langkah – langkah penelitian yang ditampilkan dengan diagram alir pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



3.5.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5.2 Diagram Alir Metode Taguchi

Berikut ini merupakan diagram alir dari metode *Taguchi*.



Gambar 3.2 Diagram Alir Metode *Taguchi*

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pembahasan dari rumusan masalah dan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Setelah data-data yang dibutuhkan diperoleh, maka dilakukan pengolahan data dengan menggunakan fase DMAIC pada metode *Six Sigma* dan metode *Taguchi* agar diperoleh suatu perbaikan pada kualitas kuat tekan batu bata yang dirasa masih kurang atau belum mencapai target yang telah oleh Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 (Handayani, 2010) sehingga dapat menurunkan cacat produk.

4.1 GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

Industri batu bata merah Cemorokandang adalah salah satu pusat industri batu bata merah yang berada di Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan Kedung Kandang, Kota Malang. Industri batu bata ini terdiri atas beberapa pengrajin batu bata di daerah sekitar, salah satunya yaitu Bapak Sugimin. Pengrajin batu bata merah yang bernama Bapak Sugimin memulai usaha pembuatan batu bata sejak tahun 1990-an. Usaha pembuatan batu bata ini merupakan usaha turun temurun dari keluarga Bapak Sugimin. Jumlah pegawai Bapak Sugimin sebanyak empat orang, antara lain 2 orang pada proses penggilingan manual bahan baku, 2 orang pada proses pencetak batu bata sekaligus merangkap proses pengeringan batu bata, dan keempat orang tersebut melaksanakan tugas pada proses pembakaran batu bata, untuk kegiatan yang berada di luar proses produksi dilakukan secara bersamaan dan dibantu juga oleh Bapak Sugimin juga. Sampai saat ini, proses pembuatan batu bata hampir seluruh prosesnya bersifat konvensional dan para pengrajin sedang mengusahakan untuk memiliki tungku pembakaran yang dapat mengoptimalkan hasil produksi milik mereka.

4.2 FASE DEFINE

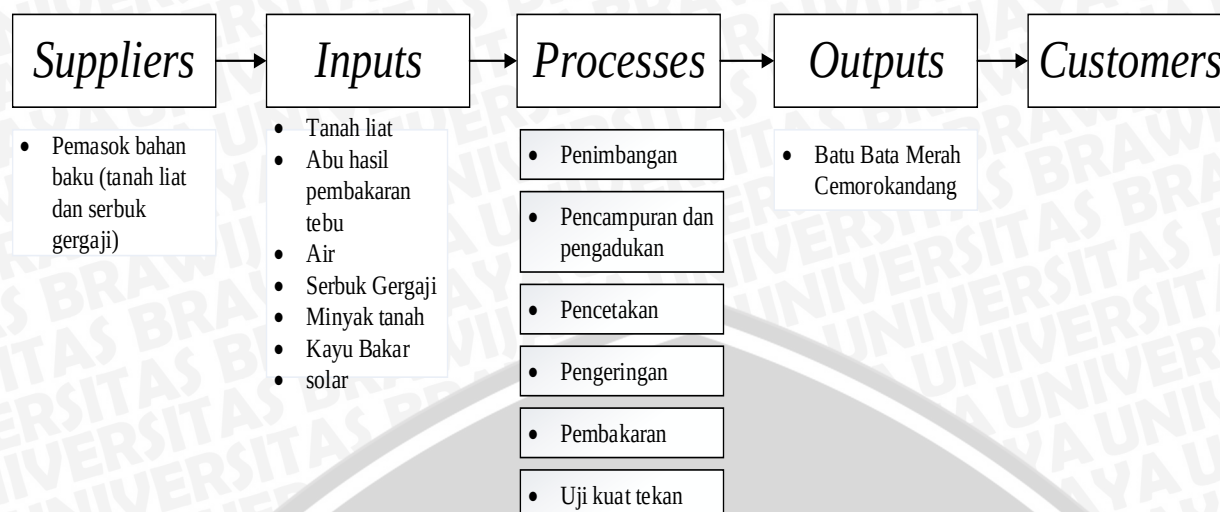
Pada fase *define* peneliti mendefinisikan dan mendeskripsikan masalah kualitas yang dihadapi beserta penentuan tujuan yang ingin dicapai. Pada tahap ini juga dilakukan pemetaan terhadap objek penelitian dengan menggunakan diagram SIPOC untuk mengetahui aliran produksinya. Berikut langkah – langkah yang dilakukan dalam fase *Define*.

4.2.1 Identifikasi Tujuan Six Sigma

Produk batu bata merupakan satu-satunya produk yang dihasilkan oleh industri batu bata milik Bapak Sugimin. Berdasarkan studi lapangan dan studi pustaka yang dilakukan peneliti permasalahan yang dihadapi oleh pengrajin batu bata yaitu kurangnya perhatian pengrajin terhadap kuat tekan batu bata yang dapat menjadi tolak ukur penting dalam penilaian kualitas. Hal tersebutlah yang menyebabkan tingginya kerugian yang diterima oleh pengrajin dan dikarenakan oleh penilaian secara subyektif atau hanya melihat dari secara fisik saja. Seperti yang telah ditampilkan pada Tabel 1.3 mengenai Jumlah produk batu bata merah, jumlah *Defect*, dan kuat tekan batu bata merah pada bulan Juli sampai Agustus 2014, maka, tujuan dari penggunaan siklus DMAIC pada metode *Six Sigma* di industri batu bata merah yaitu meningkatkan kualitas kuat tekan batu bata merah yang sesuai dengan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 (Handayani, 2010), yaitu minimal 25 kg/cm² dan maksimal 250 kg/cm². Tujuan ini memiliki latar belakang yaitu pada kenyataannya kuat tekan yang dihasilkan pada hari ke-5, 6, 7, 10, 11, dan 14 kurang dari 25 kg/cm². Hal ini menunjukkan proses produksi yang dilakukan belum berjalan dengan baik oleh pengrajin batu bata Bapak Sugimin. Dari hasil tersebut, mengakibatkan kerugian yang cukup besar yang diterima oleh pengrajin batu bata merah di Cemorokandang. Menurut Bapak Sugimin, kerugian yang diterima sebesar Rp 274.500,00 – Rp 500.000,00 per 25 hari atau mengalami kerugian dalam proses produksi batu bata merah dalam dua sampai tiga hari.

4.2.2 Diagram SIPOC

Diagram SIPOC digunakan untuk mendefinisikan proses kunci beserta pelanggan yang terlibat dalam proses tersebut. Proses kunci dalam pembuatan batu bata Cemorokandang adalah pemilihan bahan baku dan proses produksi batu bata. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan batu bata harus memiliki kualitas yang baik. Kualitas tanah liat yang baik adalah tanah yang padat dan berwarna hitam pekat. Sedangkan pada proses produksinya diharapkan dapat meningkatkan kualitas kuat tekan yang dihasilkan dari campuran bahan baku utama yaitu tanah liat dan abu hasil pembakaran tebu dan bahan baku tambahan yaitu serbuk gergaji. Diagram SIPOC dari proses pembuatan batu bata merah ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram SIPOC

Bahan baku pembuatan batu bata merah konvensional antara lain :

1. Tanah Liat

Tanah liat adalah tanah lempung yang merupakan komponen utama dalam pembuatan batu bata merah. Lempung berfungsi untuk pengikat dan penambahan kekuatan pada suhu tinggi. Tanah liat berasal dari persawahan yang banyak ditemukan di daerah Cemorokandang.

2. Abu Hasil Pembakaran

Abu ampas tebu yang merupakan abu sisa pembakaran ampas tebu (*bagase*) memiliki kandungan senyawa silika (SiO_2) yang juga merupakan bahan baku utama dari semen biasa (*portland*).

3. Serbuk Gergaji

Serbuk gergaji adalah butiran serbuk yang dihasilkan dari sisa proses gergaji pada kayu. Serbuk gergaji ini difungsikan sebagai bahan baku tambahan pada penelitian ini yang diharapkan dapat meningkatkan kuat tekan batu bata merah yang diproduksi.

4. Air

Air merupakan salah satu bahan tambahan dalam pembuatan batu bata. Penambahan air dilakukan agar lempung menjadi lebih plastis dan mudah dibentuk karena air yang bercampur dengan tanah liat yang mengandung silika akan bereaksi dan membentuk pasta tanah.

5. Kayu bakar

Kayu bakar digunakan dalam proses pembakaran batu bata pada tungku pembakaran.

6. Minyak Tanah

Minyak tanah digunakan untuk membantu pembakaran kayu bakar pada proses pembakaran batu bata.

7. Solar

Solar digunakan untuk bahan bakar mesin penggiling bahan baku pada proses penggilingan adonan batu bata.

Penjelasan *processes* pada pembuatan batu bata konvensional antara lain :

1. Penimbangan

Bahan baku yang diperoleh kemudian ditimbang sesuai kebutuhan dalam pembuatan batu bata.

2. Pencampuran dan Pengadukan

Tanah liat kemudian dicampur dan diaduk dengan air, abu hasil pembakaran tebu, dan serbuk gergaji. Proses pengadukan ini dilakukan dengan menggunakan mesin penggiling berbahan bakar solar. Tujuan dari pencampuran dan pengadukan ini adalah didapatkan adonan yang agak padat dan kenyal seperti adonan kue agar mudah diolah (dengan kata lain tidak hancur seperti pasir biasa), kemudian dilakukan pencetakan batu bata.

3. Pencetakan batu bata merah

Ditempat pencetakan, yang dilakukan oleh pengrajin batu bata merah Cemorokandang, adonan tersebut dibentuk seperti balok-balok dengan menggunakan cetakan konvensional berbentuk balok dengan ukuran yang dimiliki pengrajin.

4. Pengeringan batu bata Merah

Batu bata merah yang sudah dicetak tersebut kemudian dijemur atau dikeringkan dibawah sinar matahari dari dengan posisi tertidur. Pengeringan dengan posisi tidur atau rata dengan tanah dengan tepi batu bata masih menempel batu bata lainnya ± 5 cm. Hal ini bertujuan untuk memudahkan sirkulasi udara. Proses pengeringan batu bata merah berfungsi agar batu bata merah menjadi lebih kering dan keras sehingga nanti pada waktu proses pembakaran batu bata merah tidak mengalami cacat seperti retak, pecah dan lainnya.

5. Pembakaran Batu Bata Merah

Batu bata merah yang telah benar-benar kering dan keras tersebut kemudian dibawa ke tempat pembakaran. Satu tempat pembakaran mampu menampung minimal 10.000 batu bata. Proses pembakaran dimulai dengan menyusun batu bata pada posisi bawah, tengah, dan atas, lalu diletakkan kayu bakar pada setiap lubang batu bata yang disediakan kemudian dibakar dengan bantan minyak tanah, pembakarannya pun masih terbilang sederhana yaitu hanya menggunakan kayu bakar

yang diletakkan dibawah tungku pembakaran berbentuk kubus berukuran 3 m x 2 m x 4 m. Atapnya berbentuk seng atau bahan lain yang bisa dibuka/ ditutup ketika pembakaran berlangsung. Proses pembakaran ini memakan waktu sekitar 24 jam, dan apinya juga harus dijaga tidak boleh mengecil ataupun padam.

6. Uji Kuat Tekan

Batu bata yang telah mengalami masa pembakaran, maka dilakukan pengujian kuat tekan di Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Pengukuran kuat tekan diharapkan hasilnya dapat diatas Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 (Handayani, 2010).

Pada *output* meliputi produk batu bata yang dihasilkan dari tahap *processes*. Berikut macam - macam batu bata yang diproduksi oleh Sentra Industri Batu bata merah, Kelurahan Cemorokandang, Kecamatan Kedung Kandang, Kota Malang:



Gambar 4.2 Produk Batu Bata Merah

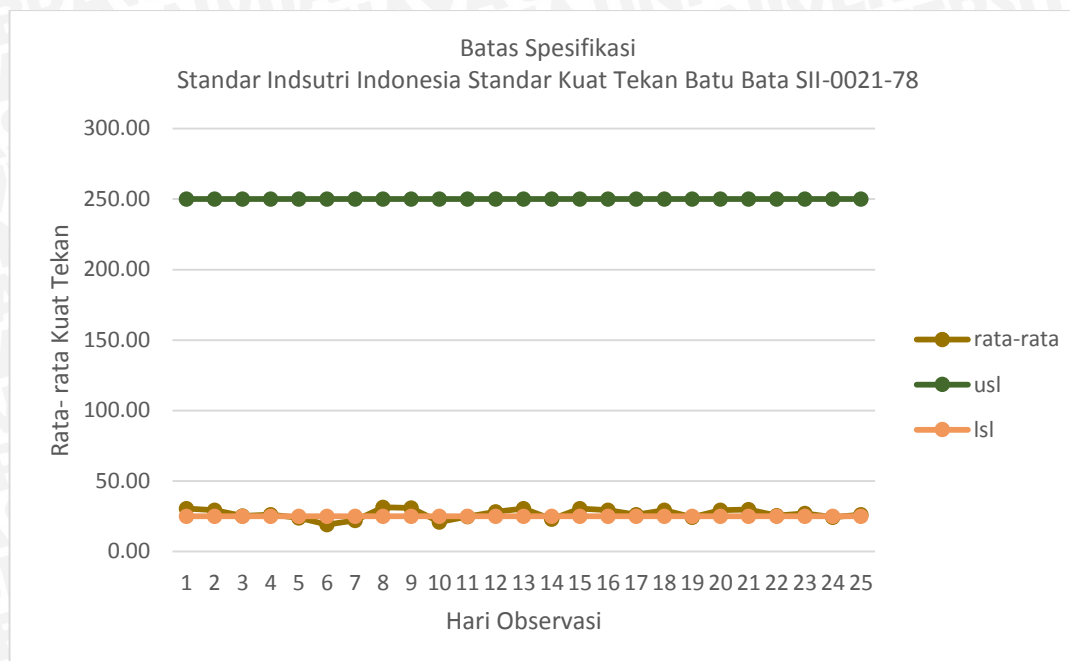
4.3 FASE MEASURE

Fase *Measure* merupakan tahap pengukuran terhadap objek penelitian yaitu Batu Bata Cemorokandang. Pemeriksaan dilakukan dari segi kuat tekan batu bata merah pada 25 Hari pada Bulan Juli 2014 sampai Agustus 2014. Untuk *baseline performance*, yang akan dicari adalah tingkat DPMO, level sigma, Kapabilitas Proses dan *Output* (*Cpm* dan *Cpmk*), serta % *off target*. Berikut langkah – langkah pada fase *Measure*.

4.3.1 Penetapan Karakteristik Kualitas (CTQ) Kunci

CTQ merupakan karakteristik – karakteristik kunci yang dapat menyebabkan cacat pada batu bata sehingga tidak memenuhi harapan pelanggan atau konsumen CTQ pada penelitian ini ditetapkan berdasarkan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 (Handayani, 2010). Berdasarkan data mengenai kuat tekan batu

bata yang telah ditampilkan pada Tabel 1.3 dengan pertimbangan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 (Handayani, 2010) yang ditampilkan pada Tabel 1.1, maka CTQ yang dimiliki oleh data tersebut adalah 25 kg/cm² untuk batas minimum dan 250kg/cm² pada batas maksimum. Berikut ini adalah grafik standar industri yang dimiliki pengrajin pada bulan Juli sampai Agustus 2014.



Gambar 4.3 Grafik Standar Industri Batu Bata Bulan Juli sampai Agustus 2014

4.3.2 Pengukuran Performa Produk Batu Bata Merah

Pengukuran performa pada produk batu bata merah meliputi pengendalian kualitas proses statistik untuk data variabel dan pengukuran tingkat performa sekarang.

4.3.2.1 Pengendalian Kualitas Proses Statistik Data Variabel

Pengukuran performa yang pertama yaitu dengan melakukan pengendalian kualitas proses statistik untuk data variabel. Penelitian ini menggunakan *X-Chart* dan *R-Chart* untuk mengetahui rata-rata kuat tekan dan *range* (jangkauan) yang dihasilkan dari pengukuran kuat tekan batu bata tersebut. Peta pengendali rata-rata merupakan peta pengendali untuk melihat apakah proses masih berada dalam batas pengendalian atau tidak (Ariani, 2004). Selain itu peta pengendalian rata-rata menunjukkan apakah rata-rata yang dihasilkan oleh produk sesuai dengan standar pengendalian yang digunakan perusahaan atau tidak.

Berikut ini adalah contoh pengolahan data *X-chart* dan *R-chart*.

1. Menghitung Rata-rata X dari setiap observasi

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$

$$\bar{X1} = \frac{30,89 + 29,65 + 31,25 + 30,23}{4} = 30,51$$

2. Menghitung Jangkauan (*Range*) dari setiap observasi

$R = \text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}$

$$R1 = 31,25 - 29,65 = 1,6$$

3. Menghitung Rata-rata Jangkauan (Rata-rata *Range*) secara keseluruhan

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n Ri}{n}$$

$$\bar{R} = \frac{1,6 + 1,37 + 1,63 + 1,01 + 0,52 + \dots + 2,24}{25} = 1,52$$

4. Menghitung Rata-rata dari Rata-rata X secara keseluruhan

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{g}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{30,51 + 29,39 + 25,25 + \dots + 26,62 + 25,28 + 25,89}{25} = 26,67$$

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan rata-rata X dan rata-rata R yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengolahan data X-bar dan R-bar

OBSERVASI	I	II	III	IV	rata-rata	RANGE
1	30.89	29.65	31.25	30.23	30.51	1.6
2	28.93	30.3	29.15	29.19	29.39	1.37
3	25.36	25.02	26.13	24.5	25.25	1.63
4	25.36	26.16	25.29	26.3	25.78	1.01
5	22.58	22.91	22.97	23.1	22.89	0.52
6	18.17	20.16	19.21	19.01	19.14	1.99
7	22.96	21.36	22.08	22.16	22.14	1.6
8	31.85	30.12	31.03	31.23	31.06	1.73
9	29.75	31.65	31.78	31.65	31.21	2.03
10	20.08	20.69	21.65	20.78	20.80	1.57
11	23.79	24.27	25.69	24.98	24.68	1.9
12	28.15	28.25	27.95	28.64	28.25	0.69
13	29.68	30.26	31.78	30.35	30.52	2.1
14	21.98	22.94	23.67	22.91	22.88	1.69
15	30.41	30.18	30.69	30.75	30.51	0.57
16	28.97	29.12	29.65	29.35	29.27	0.68
17	27.75	26.93	25.76	26.37	26.70	1.99
18	27.41	26.31	26.59	27.64	26.99	1.33
19	25.65	26.89	25.46	25.9	25.98	1.43
20	30.36	29.86	29.69	30.03	29.99	0.67
21	30.01	29.89	30.05	28.79	29.69	1.26
22	26.75	25.01	25.28	24.67	25.43	2.08
23	27.67	27.43	25.14	26.25	26.62	2.53
24	24.09	25.67	25.38	25.96	25.28	1.87
25	25.98	26.87	24.63	26.06	25.89	2.24
RATA-RATA					26,67	1.52

Berikut ini adalah pengolahan data untuk mengetahui *Upper Control Limit (UCL)* dan *Lower Control Limit (LCL)* pada *X-chart* dan *R-chart*.

Hasil dari tabel untuk $n = 4$, adalah :

$$A_2 = 0,729$$

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2,282$$

1. Menghitung nilai *Control Limit X-chart*

$$\text{Control Limit} = \bar{\bar{X}} = 26,67$$

2. Menghitung Nilai *Upper Control Limit X chart*

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = 26,67 + 0,729 \cdot 1,52 = 27,78$$

3. Menghitung Nilai *Lower Control Limit X-chart*

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = 26,67 - 0,729 \cdot 1,52 = 25,25179$$

4. Menghitung Nilai *Control Limit R-chart*

$$\text{Control Limit} = \bar{R} = 1,52$$

5. Menghitung Nilai *Upper Control Limit R chart*

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = D_4 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = 2,282 \cdot 1,52 = 3,4759$$

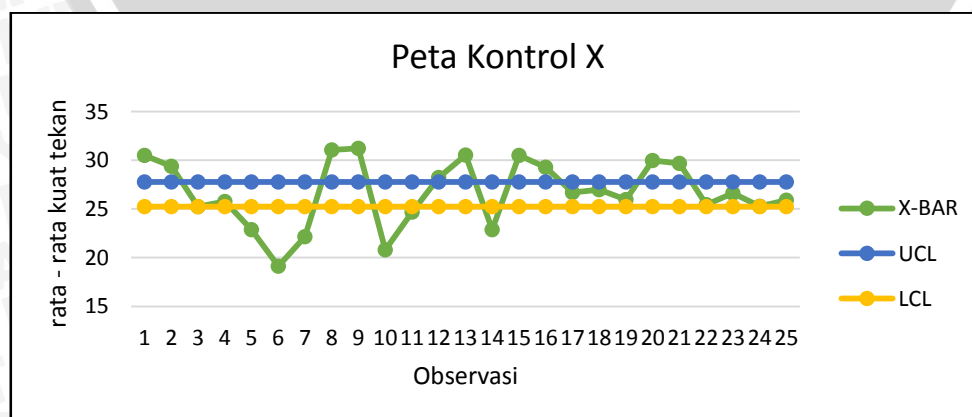
6. Menghitung Nilai *Lower Control Limit R chart*

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = D_3 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = 0 \cdot 1,52 = 0$$

Setelah dilakukan pengolahan data, lalu dilanjutkan dengan membuat peta kontrol X dan R sesuai dengan batas kontrol dan batas spesifikasi untuk *X-chart*.

1. Peta kontrol X dengan batas kontrol

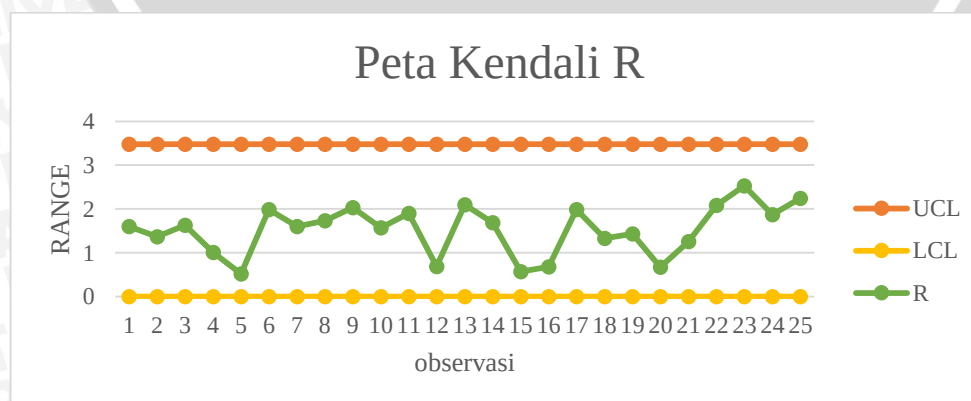


Gambar 4.4 Peta Kontrol X

Dari hasil peta kontrol X (rata-rata) didapatkan hasil observasi ke 1,2,5,6,7,8,9,10,13,14,15,16,20 dan 21 melewati batas kontrol. Tetapi, untuk batas spesifikasi menurut Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 dengan batas spesifikasi maksimal 250 dan batas spesifikasi minimal 25, didapatkan hasil data ke 5, 6, 7, 10, 11, dan 14 yang keluar dari batas spesifikasi atau dikatakan belum memenuhi standar kuat tekan batu bata menurut Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78. Hal ini dikarenakan terdapat faktor – faktor yang tidak terdefinisi pada saat proses produksi batu bata merah, baik dalam jenis faktor kendali, faktor pengganggu, ataupun faktor sinyal. Beberapa faktor yang mengakibatkan hasil kuat tekan yang berbeda pada hasil produksi bulan Juli hingga Agustus 2014 adalah faktor cuaca pada saat pengeringan, perbedaan kandungan air dalam tanah, dan cuaca pada saat dilakukannya proses pembakaran.

Pada bulan Juli hingga Agustus memasuki musim pancaroba, sehingga kondisi cuaca menjadi tidak menentu, hal ini berpengaruh pada proses pengeringan dan pembakaran. Pada proses pengeringan, jika produk tidak mendapatkan sinar matahari dengan sempurna selama waktu pengeringan, maka batu bata merah akan memiliki kuat tekan dibawah standar kuat tekan, selain itu batu bata akan menjadi mudah rapuh karena material didalamnya tidak menyatu dengan sempurna, dan begitu pula sebaliknya. Sedangkan untuk proses pembakaran, disaat proses pembakaran dilakukan pada saat cuaca dalam keadaan mendung ataupun hujan, maka proses pembakaran tidak akan merata, karena sisi bagian luar akan bersifat lembab dan hasil kuat tekan tidak bisa mencapai standar kuat tekan yaitu 25 kg/cm^2 . Sedangkan untuk kandungan air dalam tanah, dikarenakan pada beberapa hari produksi menggunakan tanah yang berdekatan dengan sungai, sehingga kandungan air dalam tanah menjadi tinggi, hal ini yang mengakibatkan susah tercampurnya adonan disertai tidak optimalnya proses pengeringan yang akan mengakibatkan tidak sesuainya kuat tekan yang dimiliki oleh batu bata merah.

2. Peta Kontrol R dengan batas kontrol



Gambar 4.5 Peta Kontrol R

Dari hasil pemetaan menggunakan peta kontrol R, tidak ada nilai *range* yang keluar dari batas kontrol atas dan batas kontrol bawah dari hasil perhitungan peta R diatas.

4.3.2.2 Pengukuran *Baseline Performa*

Peningkatan kualitas *Six Sigma* yang ditetapkan akan berfokus pada upaya - upaya giat dalam peningkatan kualitas menuju kegagalan nol (*zero defect*) sehingga memberikan kepuasan total (100%) kepada pelanggan, maka sebelum suatu proyek *Six Sigma* dimulai, langkah yang harus dilakukan yaitu harus mengetahui tingkat peforma sekarang *baseline* peforma. Setelah mengetahui *baseline* peforma, maka kemajuan peningkatan – peningkatan yang dicapai setelah memulai proyek *Six Sigma* dapat diukur sepanjang masa berlangsung proyek *Six Sigma*. *Baseline* peforma dalam *Six sigma* yaitu melakukan penghitungan analisa kapabilitas proses yang ditetapkan menggunakan satuan pengukuran *DPMO* (*Defect per Million Opportunity*) dan tingkat kapabilitas sigma (*sigma level*) berdasarkan *Six Sigma Motorola*.

Berikut ini adalah perhitungan *DPMO* (*Defect per Million Opportunities*) berdasarkan data pada Tabel 4.1.

1. Perhitungan *Standart Deviasi*

d_2 adalah nilai pada tabel yang tertera di lampiran 3, dengan penggunaan banyak replikasi sebanyak empat kali. Maka nilai dari d_2 untuk empat kali replikasi yaitu sebesar 2,059.

$$d_2 = 2.059$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{2.67}{2.059} = 0.74$$

2. Perhitungan *DPMO*

$$USL = 250$$

$$LSL = 25$$

$$DPMO = \left(\left(z \geq \frac{USL - \bar{X}}{\sigma} \right) \times 1000000 \right) + \left(\left(z \leq \frac{LSL - \bar{X}}{\sigma} \right) \times 1000000 \right)$$

$$DPMO = \left(\left(z \geq \frac{250 - 26.67}{0.74} \right) \times 1000000 \right) + \left(\left(z \leq \frac{26.67 - 25}{0.74} \right) \times 1000000 \right)$$

$$DPMO = ((1 - 0.9999) \times 1000000) + (0.0455 \times 1000000)$$

$$DPMO = 100 + 45500 = 45600$$

3. Perhitungan nilai sigma dengan menggunakan tabel

$$\text{Nilai DPMO} = 45600$$

Pada tabel nilai sigma berdasar DPMO pada lampiran 2, didapatkan nilai DPMO yang mendekati adalah 45514 dengan nilai sigma sebesar 3,19 dan 46479 dengan nilai sigma sebesar 3,18. Maka dilakukan interpolasi nilai sigma, yaitu :

$$\frac{46479 - 45514}{46479 - 45600} = \frac{3,18 - 3,19}{3,18 - x}$$

$$\frac{965}{879} = \frac{-0,01}{3,18 - x}$$

$$3068,7 - 965x = -8,79$$

$$3077,49 = 965x$$

$$x = 3,189$$

Dari hasil pengolahan data DPMO (*Defect per Milion Opportunity*), dapat diketahui bahwa nilai DPMO sebesar 45600 yang dapat diartikan bahwa dari satu juta kesempatan yang ada akan terdapat 45600 kemungkinan bahwa proses produksi batu bata akan menghasilkan kuat tekan yang kurang dari 25 kg/cm². Sedangkan dari hasil perhitungan nilai sigma didapatkan bahwa nilai rata-rata sigma dari industri batu bata Cemorokandang yang dimiliki oleh Bapak Sugimin sebesar 3,189 sigma.

Lalu berikut inilah analisa kapabilitas proses dengan menggunakan Cpm (Indeks Kapabilitas Proses) dan Cpmk (Indeks Kapabilitas *Output* Proses).

1. Perhitungan nilai σ

Table d₂ dengan replikasi 4 kali adalah 2, 059

USL (*upper specification limit*) = 250

LSL (*lower specification limit*) = 25

$$\bar{\bar{R}} = 1,52$$

$$\bar{\bar{X}} = 26,67$$

$$\sigma = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2} = \frac{1,52}{2,059} = 0,74$$

2. Perhitungan Cpm

Dikarenakan pelanggan hanya fokus terhadap batas minimum kuat tekan, maka perhitungan Cpm hanya menggunakan *Least Spesification Limit (LSL)* atau batas spesifikasi bawah saja.

T = 30 (keinginan perusahaan)

$$Cpm = (LSL - T) / \{3\sqrt{(\bar{X} - T)^2 + \sigma^2}\}$$

$$Cpm = (25 - 30) / \{3\sqrt{(26,67 - 30)^2 + 0,74^2}\} = 0,49$$

3. Perhitungan Cpk

$$Cpk = \min \left(\frac{(USL - \bar{X})}{3\sigma}, \frac{(\bar{X} - LSL)}{3\sigma} \right)$$

$$Cpk = \min \left(\frac{(250 - 26,67)}{3(0,74)}; \frac{(26,67 - 25)}{3(0,74)} \right)$$

$$Cpk = \min (100,63 ; 0,75)$$

$$Cpk = 0,75$$

4. Perhitungan Cpmk

$$Cpmk = \frac{0,75}{\sqrt{1 + \left\{ \frac{26,67 - 30}{0,74} \right\}^2}} = 0,04$$

Dari hasil perhitungan Cpm didapatkan hasil sebesar 0,49, yang dapat diartikan bahwa $Cpm < 1,00$, maka proses dianggap tidak mampu dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global. Lalu, untuk hasil Cpmk sebesar 0,04, yang dapat diartikan bahwa $Cpmk < 1,00$, maka proses dianggap tidak mampu memenuhi batas – batas toleransi (batas spesifikasi atas dan bawah, USL dan LSL) dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global. Setelah dilakukan perhitungan Cpm dan Cpmk, lalu dilakukan perhitungan pergeseran nilai target perusahaan (T), yaitu sebagai berikut:

$$\%Off Target = \frac{|Xbar - T|}{USL - LSL} \times 100\%$$

$$\%Off Target = \frac{|26,67 - 30|}{250 - 25} \times 100\%$$

$$\%Off Target = \frac{3,3277}{225} \times 100\% = 1,48\%$$

$$\sigma(\%off target) = \sqrt{(Xbar - T)^2} = \sqrt{(26,67 - 30)^2} = 3,3277$$

Dari hasil perhitungan pergeseran nilai target perusahaan tersebut didapatkan besar persentase pergeseran target sebesar 1,48% dengan besar pergeseran sebanyak 3,3277 kg/cm².

4.4 FASE ANALYZE

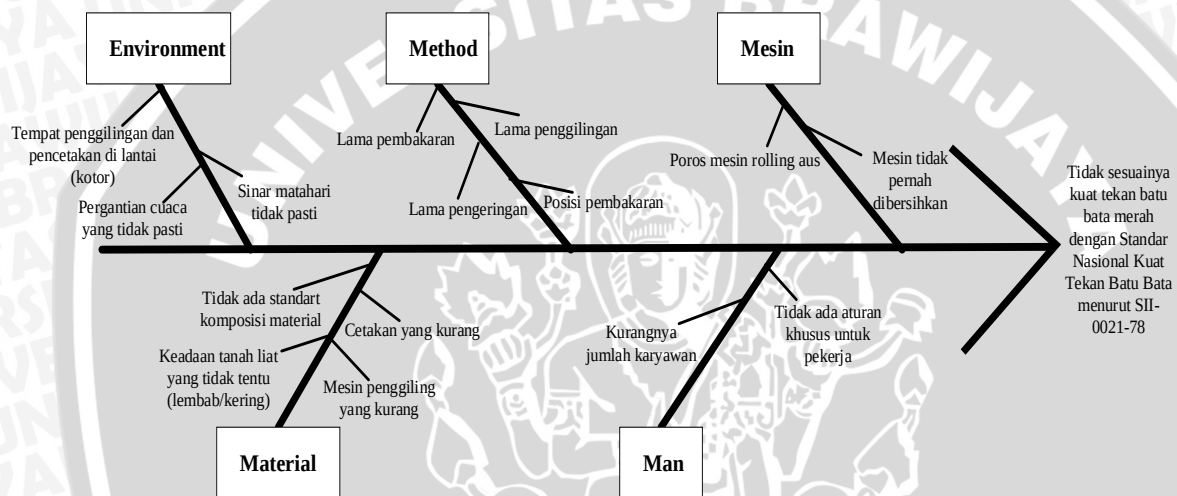
Fase *analyze* bertujuan untuk menguji data yang dikumpulkan pada fase *measure* untuk menentukan daftar prioritas dari sumber variasi dan akar penyebab kegagalan atau cacat. Berikut langkah- langkah pada fase ini.

4.4.1 Identifikasi Sumber dan Akar Penyebab Masalah Kualitas

Setelah dilakukan pengukuran peforma pada fase *measure*, yaitu pengendalian kualitas proses statistik dengan *x-chart* dan *r-chart* serta analisa kapabilitas proses,

langkah selanjutnya yaitu menemukan sumber dan akar penyebab dari masalah yang mempengaruhi karakteristik kualitas kunci pada batu bata merah sehingga dapat menemukan solusi masalah yang efektif dan efisien. Pada penelitian ini penulis menggunakan alat pengendalian kualitas yang merupakan salah satu dari tujuh macam *seven tools* yaitu diagram sebab akibat.

Identifikasi sumber dan akar penyebab masalah kualitas menggunakan diagram sebab akibat pada penelitian ini akan dilakukan pada setiap karakteristik kualitas kunci (CTQ). Berdasarkan hasil penelitian, berikut ini diagram sebab akibat yang menyebabkan variasi pada proses produksi batu bata merah pada CTQ yang ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Fish Bone Diagram

Berdasarkan Gambar 4.6, dapat dilakukan analisa sebagai berikut.

1. Mesin

Industri batu bata dua jenis metode penggilingan yaitu penggilingan manual dan penggilingan dengan menggunakan mesin, tetapi penggilingan yang paling sering dilakukan adalah dengan penggunaan mesin penggiling, hal ini dilakukan untuk mempermudah dan mempercepat proses pencampuran, serta akan mempengaruhi kualitas batu bata. Tetapi tidak adanya perawatan yang dilakukan oleh pengrajin seperti tidak melakukan pengecekan terhadap mesin jika mesin tidak mengalami gangguan dan tidak pernah memperhatikan kebersihan dari mesin itu sendiri. Faktor ini sesungguhnya dapat dikendalikan dengan adanya perawatan mesin secara berkala, tetapi kebiasaan yang telah dilakukan oleh pengrajin dan pegawainya tidak dapat dikendalikan.

2. Method

Metode kerja dapat menjadi penyebab kurangnya kuat tekan batu bata merah dikarenakan oleh beberapa faktor, yaitu :

- a. Lama Penggilingan yang tidak tetap dikarenakan tidak adanya standar khusus yang diperhatikan oleh perusahaan, pengrajin hanya mengira – ngira bahwa lama penggilingan biasanya 1 jam. Berdasarkan hasil penelitian Handayani (2010), perlakuan terhadap lama proses penggilingan dapat mempengaruhi kualitas batu bata yaitu kekuatan batu bata dengan batas maksimal penggilingan selama 2 jam. Sehingga penentuan lama penggilingan sangat penting dalam menghasilkan batu bata yang diharapkan. Faktor ini dianggap faktor yang dapat dikendalikan dengan beberapa perlakuan, hal ini dilakukan untuk mengetahui perlakuan lama penggilingan manakah yang paling tepat untuk menghasilkan kuat tekan batu bata yang optimal.
- b. Waktu Proses Pengeringan batu bata yang dilakukan oleh pengrajin juga tidak memiliki standar tertentu, mereka menggunakan perkiraan lama waktu pengeringan dan rata – rata lama waktu pengeringan kurang lebih 3 – 4 hari dan dampaknya adalah jika terlalu lama ataupun terlalu sebentar waktu proses pengeringan, maka akan menghasilkan batu bata yang mudah pecah dan rapuh. Menurut Huda (2012) pada penelitian yang dilakukan, proses pengeringan batu bata akan lebih baik bila berlangsung secara bertahap agar panas dari sinar matahari tidak jatuh secara langsung, maka perlu dipasang penutup plastik. Apabila proses pengeringan terlalu cepat dalam artian panas sinar matahari terlalu menyengat akan mengakibatkan retakan-retakan pada batu bata nantinya (Huda, 2012). Pada hasil penelitian Huda (2010), proses pengeringan merupakan proses yang penting dalam pembuatan batu bata. Menurut peneliti tersebut dan hasil *survey* terhadap pengrajin pengeringan terbaik adalah 3-7 hari pengeringan. Untuk lama waktu proses pengeringan dengan cahaya yang cukup akan memakan waktu 3 sampai 4 hari, sedangkan untuk suhu lembap maka waktu pengeringan akan memakan waktu 5 sampai 7 hari. Proses pengeringan batu bata akan lebih baik bila berlangsung secara bertahap agar panas dari sinar matahari tidak jatuh secara langsung, maka perlu dipasang penutup plastik. Maka dari itu, peneliti menganggap bahwa faktor ini adalah faktor yang dapat dikendalikan dikarenakan faktor ini dapat dikendalikan dengan beberapa perlakuan dengan acuan hari yang telah dimiliki yaitu sekitar tiga sampai 7 hari.

c. Lama pembakaran dan posisi pembakaran dapat mempengaruhi kualitas kuat tekan batu bata merah. Lama pembakaran mempengaruhi tingginya tingkat keretakan batu bata saat pembakaran terlalu lama dan kurang sempurnanya adonan saat pembakaran terlalu cepat. Lama pembakaran sebenarnya dapat digunakan dalam penyebab yang dapat dikendalikan, tetapi karena proses pembakaran harus dilakukan saat batu bata setidaknya berjumlah 10.000, maka lama pembakaran termasuk dalam penyebab yang tidak dapat dikendalikan. Sedangkan untuk posisi pembakaran terdapat tiga posisi yaitu, posisi atas, bawah, tengah. Posisi batu bata dalam lapisan pembakaran (lapisan bawah, lapisan tengah dan lapisan atas) mempengaruhi sifat fisis dan mekanis batu bata, yaitu densitas, warna, ukuran, kuat tekan dan penyerapan batu bata (Nur, 2008). Dari kedua faktor ini dapat disimpulkan bahwa untuk lama waktu pembakaran, untuk saat ini peneliti tidak dapat mengendalikan faktor tersebut dikarenakan adanya keterbatasan minimal jumlah batu bata dalam proses pembakaran sebanyak 10.000 batu bata. Sedangkan untuk faktor posisi pembakaran, peneliti menganggap bahwa faktor ini adalah faktor yang dapat dikendalikan dengan adanya pertimbangan dari penelitian sebelumnya dan pengendalian terhadap posisi pembakaran ini bertujuan untuk mengetahui posisi mana yang memiliki kapabilitas tinggi untuk menghasilkan batu bata dengan kuat tekan yang baik.

3. Man

Penyebab kurangnya kuat tekan yang disebabkan oleh manusia yaitu kurangnya jumlah karyawan sehingga karyawan melakukan *double job* dalam proses produksi serta adanya pembagian sumber daya dengan beberapa pengrajin sejenis didesa tersebut. Lalu, tidak adanya peraturan khusus untuk pekerja sehingga para pekerja kurang disiplin dalam bekerja. Unsur *man* tersebut tidak bisa dikendalikan.

4. Material

Pada unsur *material*, penyebabnya adalah komposisi bahan baku yang belum memiliki standar sehingga pengrajin batu bata belum mengetahui komposisi mana yang baik untuk menghasilkan kuat tekan batu bata yang sesuai dengan Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 (Handayani, 2010) (selama ini pengrajin hanya menggunakan satuan kira – kira yang sudah ada sejak lama) yaitu sekitar 75% tanah liat dan 25% abu hasil pembakaran tebu, sehingga hal ini akan mempengaruhi kualitas kuat tekan batu bata merah. Berdasarkan penelitian Handayani (2010), serbuk gergaji mampu meningkatkan kualitas kuat tekan dengan

proporsi terbaik hanya berkisar 0% hingga 10%. Maka dari itu, dapat diartikan bahwa faktor komposisi bahan baku ini adalah faktor yang dapat dikendalikan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui komposisi terbaik untuk meningkatkan kualitas kuat tekan batu bata merah tersebut.

5. *Environment*

Unsur lingkungan berpengaruh dalam proses produksi batu bata karena proses pengeringan yang memerlukan bantuan sinar matahari dapat menghasilkan pengeringan lebih bagus. Tetapi penyebab kurangnya kuat tekan dari menurut Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 akibat ketidakpastian cuaca tidak dapat dikendalikan.

Dari hasil keseluruhan analisa *fishbone* diagram didapatkan bahwa faktor yang dianggap paling dominan dan berpengaruh terhadap peningkatan kualitas kuat tekan batu bata merah adalah Lama penggilingan, Lama pengeringan, Posisi Pembakaran, dan Komposisi bahan baku.

4.5 FASE *IMPROVE*

Fase *Improve* dilakukan untuk melakukan tindakan perbaikan dalam rangka mengoptimalkan proses. Pada penelitian perbaikan proses menggunakan metode *Taguchi* untuk mendapatkan *setting level* optimal sehingga dapat memenuhi atau melebihi tujuan dari proyek *Six Sigma*. Berikut ini adalah langkah – langkah pada fase *Improve*.

4.5.1 Penetapan Karakteristik Kualitas

Untuk penetapan karakteristik kualitas batu bata hasil eksperimen yang diharapkan yaitu *larger the better* sehingga karakteristik kualitas yang diamati pada batu bata yaitu kuat tekan batu bata dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas kuat tekan batu bata. Dengan kata lain penetapan karakteristik kualitas yang diinginkan pada batu bata yaitu semakin besar kuat tekan yang dimiliki oleh batu bata maka akan semakin baik kualitas, sehingga penelitian ini akan menghasilkan *setting level optimal*.

4.5.2 Penetapan Faktor dan Level Berpengaruh

Identifikasi dan penentuan faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas (CTQ) dari batu bata yang mengakibatkan cacat pada produk telah dilakukan pada fase *Analyze*. Untuk penelitian ini hanya akan menggunakan faktor – faktor berpengaruh atau terkendali saja yang paling dominan berdasarkan diagram sebab akibat yaitu unsur

metode kerja dan unsur material. Pada penetapan level faktor berpengaruh didapatkan dari studi literatur, wawancara dan *survey*. Berikut ini merupakan faktor dan level yang berpengaruh terhadap karakteristik kualitas dari batu bata.

1. Lama Penggilingan

Penentuan lama penggilingan dikombinasikan dari pengalaman pengrajin dan hasil penelitian Handayani (2010), yaitu selama 1 sampai 2 jam. Maka dari itu, untuk penelitian ini lama penggilingan yang digunakan yaitu 1 jam, 1,5 jam dan 2 jam.

2. Lama Waktu Proses Pengeringan

Penentuan lama waktu proses pengeringan didapatkan dari hasil kombinasi pengalaman pengrajin dengan hasil penelitian Huda (2012), yaitu waktu pengeringan terbaik batu bata merah selama musim kemarau adalah sekitar 3 hingga 4 hari dan waktu terbaik untuk musim penghujan adalah 5 sampai 7 hari. Dengan adanya kombinasi tersebut dan faktor pembuatan batu bata pada musim kemarau, maka pada penelitian ini menggunakan faktor 3 hari, 4 hari, dan 5 hari.

3. Posisi Batu Bata dalam Proses Pembakaran

Posisi batu bata dalam lapisan pembakaran (lapisan bawah, lapisan tengah dan lapisan atas) mempengaruhi sifat fisis dan mekanis batu bata, yaitu densitas, warna, ukuran, kuat tekan dan penyerapan batu bata (Nur, 2008). Pada penelitian ini salah satu sifat mekanis batu bata yang difokuskan adalah kuat tekan batu bata melalui posisi pembakaran pada ketiga lapisan tersebut. Maka dari itu, penelitian ini melakukan pembakaran pada keseluruhan posisi pembakaran yaitu posisi bawah, tengah, dan atas.

4. Rasio Tanah Liat, Abu Hasil Pembakaran Tebu, dan Serbuk Gergaji

Penentuan rasio tanah liat dan agregat yang digunakan seperti abu hasil pembakaran tebu dan serbuk gergaji pada batu bata yaitu dengan perbandingan 3,5 kg tanah liat (75%) dan untuk agregat memiliki rasio yang bermacam – macam sesuai dengan kebutuhan. Dikhususkan untuk penggunaan rasio serbuk gergaji hanya berkisar 0% hingga 10% (Handayani, 2010), maka penelitian ini menggunakan rasio 0%, 5%, dan 10%. Pada penelitian ini rasio yang digunakan untuk perbandingan tanah liat : abu tebu : serbuk gergaji adalah 75% : 25% , 75% : 20% : 5%, dan 75% : 15% : 10%.

Dari hasil penjabaran hasil studi, *survey*, dan *interview* dengan pengrajin maka level faktor yang dipilih adalah L_9 (3^4). Penetapan level ini dikarenakan faktor pembakaran yang termasuk kedalam faktor paling penting yang hanya memiliki tiga lapisan

pembakaran yaitu lapisan atas, lapisan tengah, dan lapisan bawah. Penetapan level faktor pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Level Faktor yang Berpengaruh

Faktor yang berpengaruh	Level Faktor		
	1	2	3
Rasio Tanah Liat : abu tebu : serbuk gergaji	75% : 25 %	75% : 20% : 5%	75% : 15% : 10%
Lama penggilingan	1 jam	1,5 jam	2 jam
Lama pengeringan	3 hari	4 hari	5 hari
Posisi pembakaran	Lapisan Atas	Lapisan Tengah	Lapisan Bawah

4.5.3 Penetapan *Orthogonal Array*

Untuk mendapatkan desain *orthogonal array* yang sesuai maka diperlukan nilai *degree of freedom* dari faktor-faktor yang akan digunakan dalam eksperimen. Setelah *degree of freedom* dari faktor diketahui, maka *degree of freedom orthogonal array* yang digunakan minimal sama dengan *degree of freedom* faktor utama tersebut. Pada Tabel 4.3 berikut ini adalah perhitungan *degree of freedom* untuk faktor yang terkontrol dalam penelitian ini.

Tabel 4.3 Perhitungan *Degree of Freedom*

Faktor		Df
Kode	Penjelasan	
A	Rasio Tanah Liat : abu tebu : serbuk gergaji	(3-1)
B	Lama penggilingan	(3-1)
C	Lama pengeringan	(3-1)
D	Posisi pembakaran	(3-1)
Total		8

Pada Tabel 4.3 diketahui bahwa *degree of freedom* dari faktor pada penelitian ini adalah delapan (8). Untuk mengetahui *degree of freedom orthogonal array* didapatkan dengan cara mengalikan derajat kebebasan per kolom dengan jumlah kolom. Berikut ini adalah perhitungan *degree of freedom orthogonal array*:

$$\text{DF Faktor A} = (3 - 1) = 2$$

$$\text{DF Faktor B} = (3 - 1) = 2$$

$$\text{DF Faktor C} = (3 - 1) = 2$$

$$\text{DF Faktor D} = (3 - 1) = 2$$

$$L_9 (3^4) = (3 - 1) * 4 = 8$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa desain *orthogonal array* sesuai dengan *degree of freedom* dari faktor-faktor pada eksperimen. Dalam penelitian ini terdapat 4 faktor terkontrol dengan masing-masing faktor memiliki 3 level faktor dan tidak ada faktor interaksi. Pada Tabel 4.4 adalah tabel *orthogonal array* yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 4.4 *Orthogonal Array*

Eksperimen	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sumber : Soejanto, 2008

Jumlah eksperimen yang harus dibuat sesuai dengan *orthogonal array* $L_9 (3^4)$ adalah 9 kali eksperimen dan setiap eksperimen memiliki beberapa kali replikasi. Replikasi juga bertujuan untuk mengurangi tingkat kesalahan dan meningkatkan ketelitian. Menurut Montgomery (2009 : 231), jumlah *trial* yang digunakan dalam setiap subgroup yaitu antara 3 hingga 5, sehingga diputuskan untuk melakukan 4 kali *trial* dalam setiap eksperimennya dengan total keseluruhan data berjumlah 36.

4.5.4 Pelaksanaan Eksperimen Taguchi

Pada tahapan pelaksanaan eksperimen *Taguchi* akan dibuat sampel batu bata terdiri dari faktor-faktor terkendali dengan acuan campuran adonan yang akan digunakan yaitu penugasan pada tabel *orthogonal array*, sehingga campuran adonan sudah terperinci dari bahan mana saja yang digunakan dan juga berapa banyak bahan tersebut digunakan. Untuk mempermudah dalam pembuatan sampel batu bata maka jumlah bahan yang ada dihitung dalam berat kilogram (Kg). Begitu pula faktor – faktor berpengaruh lain pada proses produksi sampel batu bata akan mengikuti penugasan pada tabel *orthogonal array*. Berikut ini perhitungan faktor komposisi bahan baku pembuatan batu bata merah milik Bapak Sugimin.

Tabel 4.5 Komposisi Bahan Baku

Level	Bahan Baku	Rasio	Berat Bahan (kg)	Total Berat (kg)
1	Tanah liat	75%	3,21	3,87
	Abu tebu	25%	0,67	
	Serbuk gergaji	0%	0	
2	Tanah liat	75%	3,21	3,74
	Abu tebu	20%	0,53	
	Serbuk gergaji	5%	0,06	
3	Tanah liat	75%	3,21	3,87
	Abu tebu	15%	0,4	
	Serbuk gergaji	10%	0,27	

Setelah proses pembakaran, langkah selanjutnya yaitu melakukan pemeriksaan terhadap batu bata yang dihasilkan. Kemudian dilakukan pencatatan terhadap kuat tekan batu bata.

Berikut ini adalah hasil eksperimen *Taguchi* dan telah dilakukan pemeriksaan kuat tekan batu bata pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Kuat Tekan Eksperimen *Taguchi*

a	B	c	d	KUAT 1	KUAT 2	KUAT 3	KUAT 4
1	1	1	1	32.95981	33.19696	32.29819	33.23405
1	2	2	2	33.2407	33.76793	33.14174	33.73806
1	3	3	3	33.099	32.53	32.87	32.374
2	1	2	3	32.41466	32.1143	32.3686	32.60499
2	2	3	1	32.59978	32.98854	33.45568	33.71201
2	3	1	2	35.13328	35.58914	34.6836735	35.74758983
3	1	3	2	32.737	32.845	32.007	32.325
3	2	1	3	32.3281	32.7625	32.1334034	33.03375959
3	3	2	1	31.154	31.054	30.645	30.698

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya akan diolah dengan menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk data variabel dan *Signal to Noise Ratio* (SNR).

4.5.5 Pengolahan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk Data Variabel

Metode *Taguchi* menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) data variabel bertujuan untuk mencari faktor –faktor yang mempengaruhi nilai respon. *Analysis of Variance* (ANOVA) merupakan metode yang digunakan untuk mencari *setting* level optimal guna meminimalkan penyimpangan variansi. Berikut ini langkah – langkah perhitungan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk data variabel.

1. Menghitung Kuat Tekan Batu Bata Dari Hasil Eksperimen

Berikut ini adalah contoh perhitungan kuat tekan batu bata pada replikasi pertama dengan jenis eksperimen pertama (1.1).

$$\text{Kuat tekan} = \frac{\text{massa}}{\text{luas penampang}}$$

$$\text{Kuat tekan} = \frac{2039,4}{61,944} = 32,95981 \text{ kg/cm}^2$$

Berikut ini adalah hasil perhitungan Kuat Tekan Batu Bata Merah ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batu Bata

Jenis	Replikasi	Massa (kg)	Luas penampang (cm ²)	Kuat tekan (kg/cm ²)
1	1	2039.4	61.944	32.959810
	2	2141.37	64.624	33.196961
	3	2039.4	63.109	32.298190
	4	2039.4	61.383	33.234050
2	1	1937.43	58.311	33.240700
	2	2039.4	60.489	33.767930
	3	2141.37	64.568	33.141740
	4	2345.31	69.3125	33.738060
3	1	1835.46	55.4592	33.099000
	2	1835.46	56.772	32.530000
	3	2141.37	65.46	32.870000
	4	1733.49	53.5	32.374000

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batu Bata (Lanjutan)

Jenis	Replikasi	Massa (kg)	Luas penampang (cm ²)	Kuat tekan (kg/cm ²)
4	1	1121.67	34.5316	32.414660
	2	1019.7	31.7138	32.114300
	3	917.73	28.38	32.368600
	4	917.73	28.179	32.604990
5	1	1121.67	34.394	32.599780
	2	1019.7	31.1714	32.988540
	3	1223.64	36.736	33.455680
	4	1223.64	36.25	33.712010
6	1	1121.67	31.9225	35.133280
	2	917,73	25.896	35.589139
	3	1121.67	32.34	34.683673
	4	1019.7	28.5056	35.747590
7	1	1733.49	52.9635	32.414660
	2	2141.37	65.157	32.114300
	3	2243.34	70.0926	32.368600
	4	2039,4	63.099	32.604990
8	1	2345.31	68.32	32.599780
	2	2141.37	61.6	32.988540
	3	1835.46	57.12	33.455680
	4	1937,43	58.65	33.712010
9	1	2141.37	68.768	35.133280
	2	2141.37	68.936	35.589139
	3	2039.4	66.554	34.683673
	4	2141.37	69.93	35.747590

Sumber : Pengukuran Kuat Tekan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

- Memasukkan data hasil eksperimen dan melakukan pengolahan data rata – rata kuat tekan.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Rata – Rata Kuat Tekan

A	B	C	D	KUAT 1	KUAT 2	KUAT 3	KUAT 4	Rata-rata
1	1	1	1	32.95981	33.19696	32.29819	33.23405	32.92225
1	2	2	2	33.2407	33.76793	33.14174	33.73806	33.47211
1	3	3	3	33.099	32.53	32.87	32.374	32.71825
2	1	2	3	32.41466	32.1143	32.3686	32.60499	32.37564
2	2	3	1	32.59978	32.98854	33.45568	33.71201	33.189
2	3	1	2	35.13328	35.58914	34.6836735	35.74758983	35.28842
3	1	3	2	32.737	32.845	32.007	32.325	32.4785
3	2	1	3	32.3281	32.7625	32.1334034	33.03375959	32.56444
3	3	2	1	31.154	31.054	30.645	30.698	30.88775

- Membuat Tabel Respon

Berikut ini adalah contoh perhitungan pada Tabel Respon.

$$\text{Faktor A dengan level pertama } (\bar{A1}) = \frac{\sum \text{rata-rata level 1 pada faktor A}}{3}$$

$$\text{Faktor A dengan level pertama } (\bar{A1}) = \frac{(32,95981+33,2407+33,099)}{3}$$

$$\text{Faktor A dengan level pertama } (\bar{A1}) = 33,03753679$$

Hasil dari perhitungan tabel respon disajikan dalam tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Tabel Respon

Faktor	A	B	C	D
1	33.03753679	32.59213013	33.5917047	32.33300179
2	33.61768683	33.07518358	32.245165	33.74634266
3	31.97689691	32.96480683	32.79525083	32.55277608
diff	1.640789915	0.483053453	1.3465397	1.413340868
rank	1	4	3	2

Dari perhitungan tabel respon berikut, didapatkan hasil bahwa level faktor yang berpengaruh adalah, Faktor A Level 2 (Komposisi 75% Tanah liat : 20% abu pembakaran tebu : 5% serbuk gergaji), Faktor B Level 2 (Lama penggilingan 1,5 jam), Faktor C Level 1 (Lama pengeringan 3 hari), dan Faktor D Level 2 (Posisi pembakaran di tengah).

4. Mengolah data ANOVA

a. Menghitung Jumlah Kuadrat Total (ST)

$$SST = \sum y^2$$

$$SST = 33,03753679^2 + 32,59213013^2 + 33,5917047^2 + 32,33300179^2 + \dots + 31,97689691^2 + 32,96480683^2 + 32,79525083^2 + 32,55277608^2$$

$$SST = 38960,11$$

b. Menghitung jumlah rata – rata kuadrat (SS_{mean})

$$1) \text{ Total kuat tekan keseluruhan} = 33,3753679 + 32,59213013 + 33,5917047 + 32,33300179 + \dots + 31,97689691 + 32,96480683 + 32,79525083 + 32,55277608$$

$$\text{Total kuat tekan keseluruhan} = 1183,585446$$

$$\text{Rata – rata kuat tekan seluruhnya } (\bar{y}) = \frac{\text{Total kuat tekan}}{36}$$

$$\text{Rata – rata kuat tekan seluruhnya } (\bar{y}) = \frac{1183,585446}{36} = 32,87737$$

Setelah dilakukan perhitungan total kuat tekan keseluruhan maka dilakukan Jumlah Kuadrat Rata – rata.

$$2) \text{ } SS_{mean} = n \cdot \bar{y}^2$$

$$SS_{mean} = 36 \cdot \left(\frac{1182,585446}{36} \right)^2 = 38913,18$$

c. Menghitung jumlah kuadrat masing – masing faktor (SS_A, SS_B, SS_C, SS_D)

$$1) \text{ } SS_A = \left((\overline{A1})^2 \times n1 \right) + \left((\overline{A2})^2 \times n2 \right) + \left((\overline{A3})^2 \times n3 \right) - SS_{mean}$$

$$SS_A = (33.0753679^2 \times 12) + (34.78897703^2 \times 12) + (33,37116149^2 \times 12) - 38913,18 = 16,61$$

$$2) \text{ } SS_B = \left((\overline{B1})^2 \times n1 \right) + \left((\overline{B2})^2 \times n2 \right) + \left((\overline{B3})^2 \times n3 \right) - SS_{mean}$$

$$SS_B = (32,59213013^2 \times 12) + (33,07518358^2 \times 12) + (32,96480683^2 \times 12) - 38913,18 = 1,54$$

$$3) SS_C = ((\overline{C1})^2 \times n1) + ((\overline{C2})^2 \times n2) + ((\overline{C3})^2 \times n3) - SS_{mean}$$

$$SS_C = (33,5917047^2 \times 12) + (32,245165^2 \times 12) + (32,79525083^2 \times 12) - 38913,18 = 11$$

$$4) SS_D = ((\overline{D1})^2 \times n1) + ((\overline{D2})^2 \times n2) + ((\overline{D3})^2 \times n3) - SS_{mean}$$

$$SS_D = (32,33300179^2 \times 12) + (33,74634266^2 \times 12) + (32,55277608^2 \times 12) - 38913,18 = 13,88$$

d. Menghitung Jumlah Kuadrat Error (Sse)

$$Sse = SST - SS_{mean} - SS_A - SS_B - SS_n$$

$$Sse = 38960,11 - 38913,18 - 16,61 - 1,54 - 11 - 13,88 = 3,89$$

e. Membuat Tabel ANOVA

1) Menghitung Derajat Kebebasan Faktor

$$V_A = (\text{number of levels} - 1)$$

$$V_A = (3 - 1) = 2$$

Begitupula dengan derajat kebebasan B, C, dan D.

2) Menghitung Derajat Kebebasan Total

$$v_T = (\text{number of eksperiment} - 1)$$

$$v_T = (36 - 1) = 35$$

3) Menghitung Rata-rata Jumlah Kuadrat (MS)

Berikut ini adalah contoh perhitungan Rata - rata Jumlah Kuadrat A

$$MSA = \frac{SSA}{v_A}$$

$$MSA = \frac{16,61}{2} = 8,30744513$$

Begitupula dengan perhitungan Rata - rata Jumlah Kuadrat pada faktor B, C, D, dan e.

4) Menghitung Rasio (F-Ratio)

Berikut ini adalah contoh perhitungan Rasio (F-Ratio) A.

$$F \text{ ratio A} = \frac{Ms A}{Ms Error}$$

$$F \text{ ratio A} = \frac{8,30744513}{0,14420715} = 57,60772087$$

Begitupula dengan perhitungan F-Ratio pada faktor B, C, D, dan e.

5) Mengitung SS' Pada masing-masing faktor

Berikut ini adalah contoh perhitungan SSA'.

$$SS' \text{ faktor} = SS \text{ faktor} - (v \text{ faktor} \times MS \text{ error})$$

$$SSA' = 16,61489026 - (2 \times 0,14420715) = 16,32648$$

Begitupula dengan perhitungan SS' pada faktor B, C, dan D.

$SSe' = SST - \text{jumlah semua faktor}$

$$SSe' = 46,92827633 - (16,32648 + 1,249232 + 10,712 + 13,59332)$$

$$SSe' = 5,04725$$

- 6) Menghitung Rho% (Persentase Rasio Akhir) pada masing-masing faktor

Berikut ini adalah contoh perhitungan Rho% A.

$$\text{Rho\% A} = \frac{SSA'}{SST}$$

$$\text{Rho\% A} = \frac{16,32648}{46,92827633} = 34,79027409 \%$$

5. Tabel *Analysis of Variance* (ANOVA) data Variabel

Tabel 4.10 *Analysis of Variance* (ANOVA)

Sumber	SS	DF	MS	Fratio	SS'	RATIO%
A	16.61489026	2	8.30744513	57.60772087	16.32648	34.79027409
B	1.537646355	2	0.76882318	5.331380506	1.249232	2.662002862
C	11.00040941	2	5.5002047	38.14099911	10.712	22.82631272
D	13.88173732	2	6.94086866	48.13123868	13.59332	28.96616728
e	3.89	27	0.14420715	1	5.04725	10.75524305
SSt	46.92827633	35	1.3408079		46.92828	
MEAN	38913.1808	1				
Sstotal	38960.10908	36				

Dari tabel *Analysis of Variance* untuk data variabel diketahui bahwa dari seluruh faktor memiliki nilai $F\text{-ratio} \geq F\text{-tabel}$ ($F_{0,05}(2; 27) = 3,35$), hal ini dapat diartikan bahwa seluruh faktor memiliki pengaruh terhadap peningkatan kualitas kuat tekan batu bata. Sedangkan untuk nilai % *Ratio* (persen kontribusi) didapatkan hasil bahwa faktor yang memiliki persen kontribusi terbesar yaitu faktor A (komposisi tanah liat : abu sisa tebu : serbuk kayu) sebesar 34,79027409 %, diikuti dengan faktor D (posisi pembakaran) dan C (lama waktu pengeringan) yang masing – masing bernilai 28,96616728% dan 22,82631272 %, serta faktor yang memiliki tingkat persen kontribusi paling rendah dengan nilai yaitu 2,662002862% yaitu faktor B (lama penggilingan), maka dari itu total persen kontribusi seluruh faktor sebesar 89,24475696%. Dari penjabaran tersebut, dapat disimpulkan bahwa faktor yang memiliki pengaruh signifikan yang besar yaitu Faktor A (komposisi tanah liat : abu sisa tebu : serbuk kayu), C (lama waktu pengeringan) dan D (posisi pembakaran) , sedangkan untuk faktor B (lama penggilingan) memiliki pengaruh yang kecil terhadap peningkatan kualitas kuat tekan.

6. *Pooling up*

Pada pengolahan data ANOVA diawal, didapatkan hasil bahwa dari keempat faktor, seluruh faktor memiliki pengaruh yang signifikan, yaitu Faktor A (komposisi tanah liat : abu sisa tebu : serbuk kayu), B (lama penggilingan), C (lama waktu pengeringan) dan D

(posisi pembakaran) terhadap peningkatan kualitas kuat tekan batu bata, dimana memiliki perbandingan $F\text{-ratio} \geq F\text{-tabel}$ ($F_{0,05}(2; 27) = 3,35$). Tetapi, untuk faktor B dikarenakan memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan semua faktor, maka dilakukan *pooling up* untuk faktor ini. Hal ini dilakukan untuk mengetahui faktor mana yang paling signifikan dan berpengaruh paling besar terhadap kuat tekan batu bata. Berikut ini adalah perhitungan untuk *pooling up* faktor B.

a. $SS(\text{pooled } e) = Se + SSB$

$$SS(\text{pooled } e) = 3,89 + 1,537646355 = 5,43123935$$

b. $DF(\text{pooled } e) = ve + vB$

$$DF(\text{pooled } e) = 27 + 2 = 29$$

c. $MS_{\text{pooled } e} = \frac{SS_{\text{pooled } e}}{DF_{\text{pooled } e}}$

$$MS_{\text{pooled } e} = \frac{5,43123935}{29} = 0,187284116$$

Berikut ini merupakan hasil perhitungan ANOVA data variabel setelah dilakukan *pooling*.

Tabel 4.11 Analysis of Variance (ANOVA) Pooling

Sumber	POOLED	SS	DF	MS	Fratio	SS'	RATIO%
A		16.61489026	2	8.307445128	44.35745	16.240322	34.60668768
B	Y	1.537646355	2	0.768823178	-	-	-
C		11.00040941	2	5.500204703	29.36824	10.6258412	22.64272632
D		13.88173732	2	6.940868659	37.06064	13.5071691	28.78258087
e	Y	3.893592995	27	0.144207148	-	-	-
pooled e		5.43123935	29	0.187284116	1	6.55494404	13.96800513
SSt		46.92827633	35	1.340807895		46.9282763	100
MEAN		38913.1808	1				
Sstotal		38960.10908	36				

Berdasarkan hasil *Analysis of Variance* untuk data variabel eksperimen *Taguchi Pooling* yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa faktor-faktor yang memiliki pengaruh secara signifikan dalam meminimalkan penyimpangan terhadap hasil eksperimen ($F\text{ratio} \geq F\text{tabel}$), atau bisa dikatakan faktor-faktor yang mampu memberikan kontribusi paling besar dalam meningkatkan kuat tekan batu bata merah adalah faktor A (komposisi tanah liat : abu hasil pembakaran : serbuk gergaji), faktor C (lama pengeringan) dan D (posisi pembakaran), namun sebenarnya faktor B (lama penggilingan) juga memiliki pengaruh dan kontribusi terhadap peningkatan kualitas kuat tekan, tetapi nilainya lebih kecil dibandingkan dengan faktor lain.

4.5.6 Perhitungan Nilai Signal Noise to Ratio (SNR)

Perhitungan nilai *Signal to Noise to Ratio* (SNR) bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor mana saja yang mempengaruhi nilai variansi pada eksperimen ini. SNR

yang digunakan pada penelitian ini yaitu SNR – *Larger the Better* yang memiliki karakteristik semakin besar semakin baik. Berikut ini adalah langkah – langkah pengujian ANOVA *Signal Noise to Ratio (SNR)*.

1. Perhitungan *Signal Noise to Ratio (SNR)* Masing – masing Eksperimen

Berikut ini adalah contoh perhitungan untuk eksperimen pertama pada *Signal Noise to Ratio (SNR)*.

$$\eta = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

$$\eta_1 = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{4} \times \left(\frac{1}{32,95981^2} + \frac{1}{33,19696^2} + \frac{1}{32,29819^2} + \frac{1}{33,23405^2} \right) \right) = 30.348073576$$

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan *Signal Noise to Ratio*

A	b	c	D	KUAT 1	KUAT 2	KUAT 3	KUAT 4	1/N	1/YI ²	SNR
1	1	1	1	32.95981	33.19696	32.29819	33.23405	0.25	0.0036919230	30.348073576
1	2	2	2	33.24070	33.76793	33.14174	33.73806	0.25	0.0035709784	30.49272767
1	3	3	3	33.09900	32.53000	32.87000	32.37400	0.25	0.0037374697	30.29482306
2	1	3	3	32.41466	32.11430	32.36860	32.60499	0.25	0.0038164666	30.20398524
2	2	2	1	32.59978	32.98854	33.45568	33.71201	0.25	0.0036331949	30.417713
2	3	1	2	35.13328	35.58914	34.68367	35.74759	0.25	0.0032134928	30.95082658
3	1	3	2	32.73700	32.84500	32.00700	32.32500	0.25	0.0037932079	30.2305335
3	2	1	3	32.32810	32.76250	32.13340	33.03376	0.25	0.0037733445	30.2533353
3	3	2	1	31.15400	31.05400	30.64500	30.69800	0.25	0.0041932761	29.79506531

2. Membuat Tabel Respon *Signal Noise Ratio (SNR)*

$$\text{Faktor A dengan level pertama } (\bar{A1}) = \frac{\sum \text{rata-rata level 1 pada faktor A}}{3}$$

$$\text{Faktor A dengan level pertama } (\bar{A1}) = \frac{(30348073576 + 30,49272767 + 30,29482306)}{3}$$

$$\text{Faktor A dengan level pertama } (\bar{A1}) = 30,37854144$$

Hasil dari perhitungan tabel respon disajikan dalam tabel 4.15.

Tabel 4.13 Tabel Respon *Signal Noise to Ratio*

	A	B	C	D
1	30.37854144	30.26086411	30.51741182	30.18695063
2	30.52417494	30.38792533	30.16392608	30.55802925
3	30.09297804	30.34690498	30.31435652	30.25071454
Diff	0.43119690	0.12706122	0.35348574	0.37107862
rank	1	4	3	2

Dari hasil Tabel Respon *Signal Noise to Ratio* tersebut, dipilihlah nilai level faktor paling besar pada setiap faktor, hal ini digunakan sebagai penerapan *Signal Noise Ratio (SNR)* pada *Larger The Better*. Maka level faktor yang berpengaruh adalah, Faktor A Level 2 (Komposisi 75% Tanah liat : 20% abu pembakaran tebu : 5% serbuk gergaji), Faktor B Level 2 (Lama penggilingan 1,5 jam), Faktor C Level 1 (Lama pengeringan 3 hari), dan Faktor D Level 2 (Posisi pembakaran di tengah).

4.5.7 Penentuan *Setting Level* Optimal

Pada dasarnya, upaya dalam meningkatkan karakteristik kualitas menggunakan dua cara yaitu mengurangi variansi dan mengatur target sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Berikut adalah tabel perbandingan pengaruh faktor-faktor dalam eksperimen *Taguchi* terhadap karakteristik kualitas yang diamati.

Tabel 4.14 Tabel Perbandingan Pengaruh Faktor Pada Eksperimen *Taguchi*

Faktor	Pengaruh	Setting Level yang digunakan
A	Signifikan dan Kontribusi besar	A2
B	Signifikan dan Kontribusi kecil	B2
C	Signifikan dan Kontribusi besar	C1
D	Signifikan dan Kontribusi besar	D2

Berdasarkan Tabel 4.15 dapat diketahui bahwa kombinasi level yang optimal yaitu Faktor A Level 2 (Komposisi 75% Tanah liat : 20% abu pembakaran tebu : 5% serbuk gergaji), Faktor B Level 2 (Lama penggilingan 1,5 jam), Faktor C Level 1 (Lama pengeringan 3 hari), dan Faktor D Level 2 (Posisi pembakaran di tengah).

4.5.8 Perkiraan Kondisi dan Selang Kepercayaan

Perhitungan *setting level* optimum telah ditentukan maka langkah selanjutnya yang ditempuh yaitu membuat perkiraan kondisi optimal untuk meminimalkan meningkatkan kualitas kuat tekan batu bata. Perkiraan *setting level* ini dilakukan dengan cara membandingkan pada hasil eksperimen konfirmasi kedepannya, dimana jika nilai perkiraan dari hasil eksperimen memiliki nilai hampir sama atau mendekati maka dapat disimpulkan bahwa rancangan eksperimen *Taguchi* sudah memenuhi syarat yang ada. Sedangkan untuk perhitungan selang kepercayaan bertujuan untuk mengetahui perkiraan dari level-level faktor prediksi rata-rata proses pada kondisi optimal sesuai level-level optimal yang didapat.

Berdasarkan hasil dari ANOVA untuk data variabel, faktor yang berpengaruh dan mempunyai kontribusi besar untuk meningkatkan kuat tekan batu bata merah yaitu A2, C1, dan D2.

Berikut ini perhitungan perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan.

1. Perkiraan kondisi optimal dan selang kepercayaan untuk nilai rata – rata

Nilai rata – rata untuk seluruh data

Rata – rata kuat tekan seluruhnya *Signal Noise Ratio (SNR)* ($\bar{y}$) = 30.33189814

2. Perhitungan selang kepercayaan nilai prediksi rata – rata ($\bar{y}$)

$$\mu_{prediksi} = \bar{y} + (\bar{A2} - \bar{y}) + (\bar{C1} - \bar{y}) + (\bar{D2} - \bar{y})$$

$$\mu_{prediksi} = 30,3318981 + (30,74705184 - 30,3318981) + (30,51741182 - 30,3318981) + (30,687006 - 30,3318981)$$

$$\mu_{prediksi} = 30,93581973 \text{ kg/cm}^2$$

3. Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan nilai rata – rata

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{\left(F_{\alpha, v1, v2} \times MSE_e \times \left| \frac{1}{n_{eff}} \right| \right)}$$

Keterangan neff :

$$n_{eff} = \frac{\text{total number of experiment}}{\text{sum of degree of freedom used in estimate of mean}}$$

$$n_{eff} = \frac{9 \times 4}{DF_{\mu} + DFA + DFC + DFD}$$

$$n_{eff} = \frac{36}{1 + 2 + 2 + 2} = 5,142857143$$

Maka perhitungan selang kepercayaan sebagai berikut :

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{\left(F_{\alpha, v1, v2} \times MSE_e \times \left| \frac{1}{n_{eff}} \right| \right)}$$

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{\left(F_{0,05,2,29} \times 0,187284116 \times \left| \frac{1}{5,142857143} \right| \right)}$$

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{\left(3,3 \times 0,187284116 \times \left| \frac{1}{5,142857143} \right| \right)}$$

$$Cl_{mean} = \pm 0,346661181$$

Maka selang kepercayaan untuk proses optimal :

$$\begin{aligned} \mu_{prediksi} - Cl &\leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + Cl \\ 30,93581973 - 0,346661181 &\leq \mu_{prediksi} \leq 30,93581973 + 0,346661181 \\ 30,8915855 &\leq \mu_{prediksi} \leq 31,28248091 \end{aligned}$$

4.5.9 Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan tahap validasi hasil dari *setting* faktor dan level yang telah dihasilkan pada perhitungan sebelumnya. Dalam eksperimen konfirmasi menentukan *setting* level terbaik dari faktor-faktor yang signifikan merupakan tugas utama dari eksperimen ini. Untuk faktor-faktor yang mempunyai kontribusi yang kecil tetap dimasukkan dalam eksperimen ini dengan mengambil level yang terbaik guna ditetapkan pada sembarang level. Untuk eksperimen konfirmasi dalam penelitian ini dilakukan pada pengrajin batu bata milik Bapak Sugimin di Kelurahan Cemorokandang Kecamatan Kedung Kandang. Berikut ini adalah Standar Operasional Prosedur

Pembuatan Batu Bata setelah terpilihnya faktor dan level yang terbaik dari hasil perhitungan dengan metode *Taguchi*.

1. Persiapan Tempat, Alat, dan Bahan
 - a. Persiapan Tempat
 - 1) Bersihkan tempat pengeringan dari sisa debu batu bata.
 - 2) Persiapkan lahan untuk tungku pembakaran.
 - b. Persiapan Alat
 - 1) Bersihkan sisa adonan batu bata sebelumnya dari mesin penggiling dan pencetak.
 - 2) Pastikan mesin penggiling dalam kondisi dapat digunakan.
 - 3) Pastikan semua alat sudah lengkap sesuai dengan kebutuhan.
 - c. Persiapan Bahan
 - 1) Pastikan seluruh bahan dalam keadaan siap digunakan (tidak kehabisan).
2. Penggilingan Adonan
 - a. Pastikan posisi pekerja berada pada tempat kerjanya.
 - b. Pastikan mesin penggiling dalam keadaan baik, dapat digunakan, dan sudah terisi solar.
 - c. Campurkan tanah liat sebanyak 75%, abu hasil pembakaran tebu sebesar 20%, dan serbuk gergaji sebesar 5% kedalam mesin penggiling. Pengukuran dilakukan dengan penggunaan timbangan.
 - d. Pastikan campuran tanah liat, abu hasil pembakaran tebu, dan serbuk gergaji dengan air yang secukupnya.
 - e. Jika semua persiapan sudah dilaksanakan, maka proses penggilingan dapat dimulai. Waktu penggilingan dengan mesin dilakukan selama 1,5 jam pada setiap campuran adonan.
3. Pencetakan Adonan
 - a. Pastikan pencetak dalam kondisi baik dan berbentuk balok sesuai dengan bentuk dan ukuran batu bata merah yang akan diproduksi.
 - b. Tuangkan adonan batu bata yang telah selesai digiling kedalam cetakan.
 - c. Posisikan cetakan yang telah diisi adonan pada lahan pengeringan.
4. Pengeringan Adonan
 - a. Pastikan lahan pengeringan dalam keadaan bersih dan siap digunakan.
 - b. Posisikan cetakan yang telah diisi adonan pada lahan pengeringan.
 - c. Pengeringan dilakukan selama 3 hari.

5. Pembakaran
 - a. Pembakaran dapat dilakukan saat minimal batu bata berjumlah 10.000 buah.
 - b. Persiapkan bahan yang digunakan untuk proses pembakaran.
 - c. Susun batu bata menjadi berbentuk tungku pembakaran pada posisi bawah, tengah, dan atas.
 - d. Letakkan kayu bakar pada lorong – lorong yang telah dibuat dari susunan batu bata.
 - e. Tuangkan minyak tanah pada kayu bakar yang telah disediakan.
 - f. Bakarlah kayu bakar yang telah disiapkan.
 - g. Proses pembakaran dilaksanakan dalam waktu 24 jam.
6. Pengujian Kuat Tekan
 - a. Pastikan pengrajin memiliki alat kuat tekan ataupun bekerja sama dengan pihak lain untuk melakukan uji kuat tekan.
 - b. Jika bekerjasama dengan pihak lain, persiapkan berkas yang diperlukan untuk pengujian kuat tekan.
 - c. Tentukan jumlah sampel yang akan diuji kuat tekan.
 - d. Siapkan peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan uji kuat tekan, diantaranya adalah mesin penguji kuat tekan, batu bata, dan lembar pengamatan.
 - e. Ukurlah luas penampang sampel batu bata yang akan diukur.
 - f. Setelah semua perlengkapan sudah siap dan sudah dilakukannya pengukuran luas penampang, lalu lakukan pengujian kuat tekan dengan bantuan operator mesin.
 - g. Catat semua hasil beban yang dapat diterima oleh batu bata.
 - h. Setelah semua data terkumpul, maka olah data luas penampang dan data beban yang mampu diterima batu bata untuk menghasilkan kuat tekan batu bata.

Peneliti membuat 100 batu bata dengan menggunakan faktor dan level optimal, sehingga jumlah sampel batu bata yang akan digunakan dalam eksperimen konfirmasi yaitu 25 batu bata. Berikut ini adalah hasil eksperimen konfirmasi dan perhitungan *Signal Noise to Ratio (SNR) – Larger the Better* pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Eksperimen Konfirmasi dan *Signal Noise to Ratio (SNR)*

OBSERVASI	I	II	III	IV	rata-rata	$1/y^2$
1	33.43	32.43	39.13	31.73	34.18	0.000855965
2	39.07	34.02	33.24	31.87	34.55	0.00083773
3	32.97	39.11	31.93	33.09	34.28	0.000851226
4	38.77	32.97	31.25	34.07	34.27	0.000851723
5	34.02	39.47	31.45	33.12	34.52	0.00083943
6	30.67	32.87	33.78	38.16	33.87	0.000871705
7	30.99	39.05	32.96	33.45	34.11	0.000859356
8	34.1	31.27	39.08	33.49	34.49	0.000840891

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Eksperimen Konfirmasi dan *Signal Noise to Ratio* (SNR) (Lanjutan)

OBSERVASI	I	II	III	IV	rata-rata	1/y ²
9	33.26	31.65	39.12	33.97	34.50	0.00084016
10	39.16	31.07	32.63	34.07	34.23	0.000853341
11	32.65	30.92	33.24	39.09	33.98	0.000866325
12	31.3	32.27	39.07	32.98	33.91	0.000869906
13	39.51	34.17	31.56	33.11	34.59	0.000835914
14	31.99	39.12	31.21	32.86	33.80	0.000875579
15	39.26	30.9	32.97	33.76	34.22	0.00085384
16	31.56	39.64	32.49	32.55	34.06	0.000862007
17	33.97	32.23	30.32	39.12	33.91	0.00086965
18	32.95	30.77	33.13	38.79	33.91	0.00086965
19	33.76	30.21	32.85	38.57	33.85	0.000872864
20	33.12	31.88	38.62	30.79	33.60	0.000885639
21	32.68	38.76	30.33	33.23	33.75	0.000877915
22	31.13	33.15	30.77	39.29	33.59	0.000886562
23	32.81	31.67	39.22	32.19	33.97	0.000866453
24	33.17	39.13	30.89	32.78	33.99	0.000865434
25	30.86	33.01	32.43	39.44	33.94	0.000868369
JUMLAH	847.16	851.74	843.67	865.57	852.04	0.000861105
RATA-RATA					34.08	

Berikut ini merupakan contoh perhitungan *SNR- Larger the Better* rata-rata dari 25 observasi.

$$\eta_1 = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

$$\eta_1 = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{25} x(0,000855965 + 0,00083773 + 0,000851226 + \dots + 0,00086543 + 0,00086839) \right)$$

$$\eta_1 = 30,64944$$

Maka, nilai rata-rata untuk *SNR- Larger the Better* adalah sebesar 30,64944 kg/cm². Setelah mendapatkan data diatas maka langkah selanjutnya yaitu dianalisis hingga mendapatkan nilai selang kepercayaan untuk dibandingkan dengan selang kepercayaan pada kondisi optimal, hal itu merupakan syarat dari eksperimen konfirmasi guna validasi diterima atau tidaknya percobaan ini.

4.5.10 Selang Kepercayaan Eksperimen Konfirmasi

Seperti pada kondisi optimal, tujuan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi yaitu untuk membuat suatu perkiraan dari level-level faktor. Untuk selang kepercayaan sendiri akan dibandingkan antara selang kepercayaan optimal dengan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi, ini akan menggambarkan apakah percobaan ini diterima atau ditolak kevalidannya dengan cara membandingkan dalam bentuk grafik. Berikut ini merupakan perhitungan selang kepercayaan eksperimen konfirmasi.

Rata – rata *SNR- Larger the Better* ($\mu_{konfirmasi}$)= 30,64944 kg/cm² .

$$Cl_{mean} = \sqrt{\left(F_{0,05,2,29} \times M_{spooled} \times \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r}\right]\right)}$$

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{\left(F_{0,05,2,29} \times 1.267237 \times \left[\frac{1}{5,142857143} + \frac{1}{25}\right]\right)}$$

$$Cl_{mean} = \pm \sqrt{\left(3,33 \times 1.267237 \times \left[\frac{1}{5,142857143} + 0,23\right]\right)}$$

$$Cl_{mean} = \pm 0.994652$$

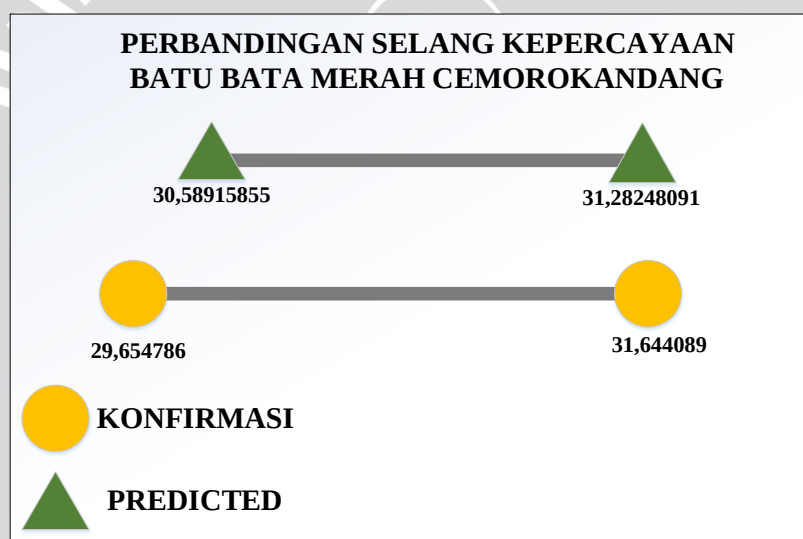
Maka selang kepercayaan untuk proses optimal :

$$\mu_{konfirmasi} - Cl \leq \mu_{konfirmasi} \leq \mu_{konfirmasi} + Cl$$

$$30,64944 - 0.994652 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 30,64944 + 0.994652$$

$$29,654786 \leq \mu_{konfirmasi} \leq 31,644089$$

Setelah menghitung selang kepercayaan eksperimen konfirmasi, maka tahap selanjutnya yaitu membandingkan selang kepercayaan optimal dan eksperimen konfirmasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perbandingan Selang Kepercayaan Optimal dan Eksperimen Konfirmasi

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dapat diterima dengan perimbangan selang kepercayaan karena pada gambar diatas menjelaskan bahwa hasil dari eksperimen konfirmasi masih berada dalam interval hasil optimal. Hasil Gambar 4.7 di atas didapatkan dari Tabel 2.7 sub bab 2.7.8 mengenai perbandingan interval kepercayaan untuk kondisi optimal dan eksperimen metode *Taguchi* yang menunjukkan bahwa keputusan diterima. Keputusan diterima berarti hasil dari eksperimen *Taguchi* dapat direproduksi dan *setting* level optimal dapat dijadikan acuan dalam proses produksi batu bata Cemorokandang.

4.6 FASE CONTROL

Fase *Control* bertujuan untuk memastikan bahwa perbaikan pada proses, sekali diimplementasikan, proses akan bertahan, dan proses tidak akan kembali pada keadaan sebelumnya. Dalam hal ini, sesuai dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan, dimana *setting* level optimal yang menjadi acuan perbaikan dalam fase *control* selanjutnya, untuk meningkatkan kualitas kuat tekan batu bata merah.

4.6.1 Perhitungan X Chart dan R Chart Eksperimen Konfirmasi

Setelah penentuan *setting* level optimal, langkah selanjutnya yaitu melakukan eksperimen konfirmasi. Eksperimen konfirmasi tersebut perlu dilakukan pengukuran performa yang pertama yaitu dengan melakukan pengendalian kualitas proses statistik untuk data variabel. Penelitian ini menggunakan *X-chart* dan *R-chart* untuk memastikan proses terkendali dan mengetahui apakah kuat tekan batu bata merah yang dihasilkan masih dalam batas yang disyaratkan. Data kuat tekan eksperimen konfirmasi pada proses produksi Sentra Industri Batu Bata Cemorokandang disajikan pada Tabel 4.15 Berikut ini adalah hasil perhitungan dan pembuatan *X chart*.

- $$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$

$$\bar{X1} = \frac{33,43 + 32,43 + 39,13 + 31,73}{4} = 34,18$$
- Menghitung Jangkauan (*Range*) dari setiap observasi

$R = \text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}$

$R1 = 39,13 - 31,73 = 7,4$
- Menghitung Rata-rata Jangkauan (Rata-rata *Range*) secara keseluruhan

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n Ri}{n}$$

$$\bar{R} = \frac{7,4 + 7,2 + 7,18 + 7,52 + 8,02 + \dots + 7,55 + 8,24 + 8,58}{25} = 7,9524$$
- Menghitung Rata-rata dari Rata-rata X secara keseluruhan

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{g}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{34,18 + 34,55 + 34,275 + \dots + 33,97 + 33,99 + 33,93}{25} = 34,0814$$

Berikut ini adalah tabel hasil perhitungan rata-rata X dan rata-rata R Uji Konfirmasi.

Tabel 4.16 Hasil Pengolahan data *X-bar* dan *R-bar* Uji Konfirmasi

OBSERVASI	I	II	III	IV	rata-rata($\bar{x}$)	RANGE
1	33.43	32.43	39.13	31.73	34.18	7.4
2	39.07	34.02	33.24	31.87	34.55	7.2
3	32.97	39.11	31.93	33.09	34.275	7.18
4	38.77	32.97	31.25	34.07	34.265	7.52

Tabel 4.16 Hasil Pengolahan data $\bar{X}$ -bar dan $\bar{R}$ -bar Uji Konfirmasi (Lanjutan)

OBSERVASI	I	II	III	IV	rata-rata($\bar{X}$)	RANGE
5	34.02	39.47	31.45	33.12	34.515	8.02
6	30.67	32.87	33.78	38.16	33.87	7.49
7	30.99	39.05	32.96	33.45	34.1125	8.06
8	34.1	31.27	39.08	33.49	34.485	7.81
9	33.26	31.65	39.12	33.97	34.5	7.47
10	39.16	31.07	32.63	34.07	34.2325	8.09
11	32.65	30.92	33.24	39.09	33.975	8.17
12	31.3	32.27	39.07	32.98	33.905	7.77
13	39.51	34.17	31.56	33.11	34.5875	7.95
14	31.99	39.12	31.21	32.86	33.795	7.91
15	39.26	30.9	32.97	33.76	34.2225	8.36
16	31.56	39.64	32.49	32.55	34.06	8.08
17	33.97	32.23	30.32	39.12	33.91	8.8
18	32.95	30.77	33.13	38.79	33.91	8.02
19	33.76	30.21	32.85	38.57	33.8475	8.36
20	33.12	31.88	38.62	30.79	33.6025	7.83
21	32.68	38.76	30.33	33.23	33.75	8.43
22	31.13	33.15	30.77	39.29	33.585	8.52
23	32.81	31.67	39.22	32.19	33.9725	7.55
24	33.17	39.13	30.89	32.78	33.9925	8.24
25	30.86	33.01	32.43	39.44	33.935	8.58
RATA-RATA ($\bar{X}$)					34.0814	7.9524

Berikut ini adalah pengolahan data untuk mengetahui *Upper Control Limit* (UCL) dan *Lower Control Limit* (LCL) pada $\bar{X}$ -chart dan $\bar{R}$ -chart.

Hasil dari tabel A_2 , D_3 , dan D_4 untuk $n = 4$, adalah :

$$A_2 = 0,729$$

$$D_3 = 0$$

$$D_4 = 2,282$$

Berikut ini adalah langkah – langkah pengolahan data $\bar{X}$ -chart dan $\bar{R}$ -chart

1. Menghitung nilai *Control Limit* $\bar{X}$ -chart

$$\text{Control Limit} = \bar{X}\text{-bar} = 34,0814$$

2. Menghitung Nilai *Upper Control Limit* $\bar{X}$ chart

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = 34,0814 + 0,729 \cdot 7,9524 = 39,8787$$

3. Menghitung Nilai *Lower Control Limit* $\bar{X}$ -chart

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = 34,0814 - 0,729 \cdot 7,9524 = 28,284$$

4. Menghitung Nilai *Control Limit* $\bar{R}$ -chart

$$\text{Control Limit} = \bar{R}\text{-bar} = 7,9524$$

5. Menghitung Nilai *Upper Control Limit R chart*

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = D_4 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Upper Control Limit (UCL)} = 2,282 \cdot 7,9524 = 16,5569$$

6. Menghitung Nilai *Lower Control Limit R chart*

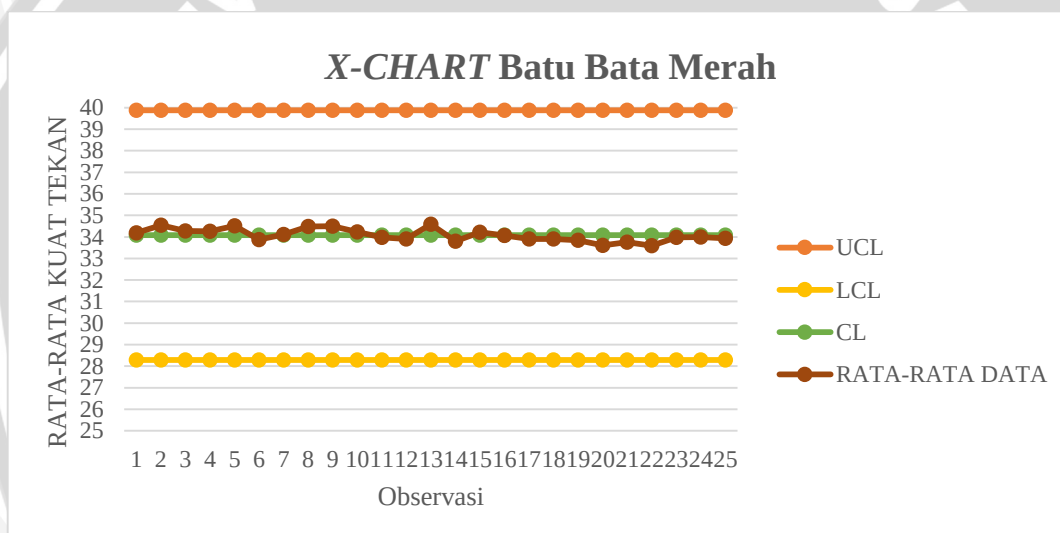
$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = D_3 \cdot \bar{R}$$

$$\text{Lower Control Limit (LCL)} = 0 \cdot 7,9524 = 0$$

Setelah dilakukan pengolahan data, lalu dilanjutkan dengan membuat peta kontrol X dan R sesuai dengan batas kontrol untuk *X-chart* dan *R-chart*. Berikut ini adalah *X chart* dan *R-chart* batu bata merah setelah dilakukannya pengujian *Taguchi* yang disajikan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

1. Peta Kontrol X (*X-Chart*) Uji Konfirmasi

Berikut ini adalah peta kontrol X (*X-chart*) yang disajikan pada Gambar 4.8

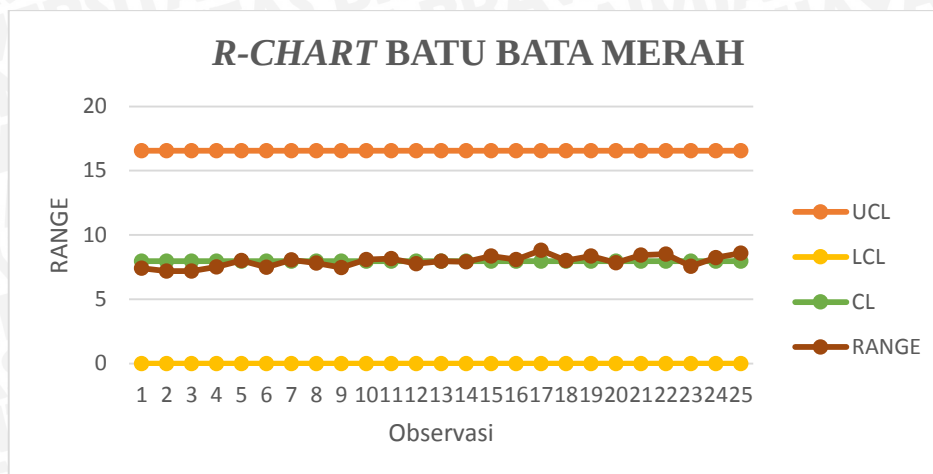


Gambar 4.8 *X-Chart* Batu Bata Merah Uji Konfirmasi

Dari Gambar 4.8, tampak bahwa pada semua observasi berada dalam batas kendali (*process in of statistical control*). Maka dapat diartikan bahwa proses produksi batu bata merah berada dalam kondisi stabil dan *setting level optimal* eksperimen *Taguchi* yang telah ditetapkan dapat terus dilanjutkan. Hal ini juga menunjukkan bahwa rata – rata kuat tekan batu bata merah sudah baik, dikarenakan kuat tekan berada diantara batas spesifikasi menurut Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78.

2. Peta Kontrol R (*R-Chart*) Uji Konfirmasi

Berikut ini adalah *R chart* batu bata merah setelah dilakukannya pengujian *Taguchi* akan disajikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 R-Chart Batu Bata Merah Uji Konfirmasi

Dari Gambar 4.9 tampak bahwa pada semua observasi berada dalam batas kendali (*process in of statistical control*). Hal ini berarti proses produksi batu bata merah berada dalam kondisi stabil dan *setting level optimal* eksperimen Taguchi yang telah ditetapkan dapat terus dilanjutkan.

4.6.2 Pengukuran Baseline Performa Proses Eksperimen Konfirmasi

Setelah melakukan eksperimen konfirmasi, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengukuran *baseline performa* dalam Six sigma yang ditetapkan menggunakan satuan pengukuran DPMO (*Defect per Million Opportunity*).

Tabel 4.17 Tabel Hasil Perhitungan Kuat Tekan Batu Bata untuk DPMO

OBSERVASI	I	II	III	IV	rata-rata	RANGE
1	33.43	32.43	39.13	31.73	34.18	7.4
2	39.07	34.02	33.24	31.87	34.55	7.2
3	32.97	39.11	31.93	33.09	34.275	7.18
4	38.77	32.97	31.25	34.07	34.265	7.52
5	34.02	39.47	31.45	33.12	34.515	8.02
6	30.67	32.87	33.78	38.16	33.87	7.49
7	30.99	39.05	32.96	33.45	34.1125	8.06
8	34.1	31.27	39.08	33.49	34.485	7.81
9	33.26	31.65	39.12	33.97	34.5	7.47
10	39.16	31.07	32.63	34.07	34.2325	8.09
11	32.65	30.92	33.24	39.09	33.975	8.17
12	31.3	32.27	39.07	32.98	33.905	7.77
13	39.51	34.17	31.56	33.11	34.5875	7.95
14	31.99	39.12	31.21	32.86	33.795	7.91
15	39.26	30.9	32.97	33.76	34.2225	8.36
16	31.56	39.64	32.49	32.55	34.06	8.08
17	33.97	32.23	30.32	39.12	33.91	8.8
18	32.95	30.77	33.13	38.79	33.91	8.02
19	33.76	30.21	32.85	38.57	33.8475	8.36
20	33.12	31.88	38.62	30.79	33.6025	7.83
21	32.68	38.76	30.33	33.23	33.75	8.43
22	31.13	33.15	30.77	39.29	33.585	8.52
23	32.81	31.67	39.22	32.19	33.9725	7.55
24	33.17	39.13	30.89	32.78	33.9925	8.24
25	30.86	33.01	32.43	39.44	33.935	8.58
RATA-RATA					34.0814	7.9524

Berikut ini adalah perhitungan DPMO (*Defect per Million Opportunities*)

1. Perhitungan Rata-rata Keseluruhan

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{34,18 + 34,55 + 34,28 + \dots + 33,973 + 33,993 + 33,935}{25} = 34,0814$$

2. Perhitungan *Range*

Berikut ini adalah perhitungan *Range* untuk observasi pertama.

$$R = \text{nilai maksimum} - \text{nilai minimum}$$

$$R1 = 39,13 - 31,73 = 7,4$$

$$\bar{R} = \frac{7,4 + 7,2 + 7,18 + \dots + 7,55 + 8,24 + 8,58}{25} = 7,9524$$

3. Perhitungan *Standart Deviasi*

d_2 adalah nilai pada tabel yang tertera di lampiran 3, dengan penggunaan banyak replikasi sebanyak empat kali. Maka nilai dari d_2 untuk empat kali replikasi yaitu sebesar 2,059.

$$d_2 = 2.059$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{7,9524}{2,059} = 3,862263$$

4. Perhitungan DPMO

$$USL = 250$$

$$LSL = 25$$

$$DPMO = \left(\left(z \geq \frac{USL - \bar{X}}{\sigma} \right) \times 1000000 \right) + \left(\left(z \leq \frac{LSL - \bar{X}}{\sigma} \right) \times 1000000 \right)$$

$$DPMO = \left(\left(z \geq \frac{250 - 34,0814}{3,862263} \right) \times 1000000 \right) + \left(\left(z \leq \frac{25 - 34,0814}{3,862263} \right) \times 1000000 \right)$$

$$DPMO = ((1 - 0.9999) \times 1000000) + (0.0094 \times 1000000)$$

$$DPMO = 100 + 9400 = 9500$$

5. Perhitungan nilai sigma dengan Tabel Sigma

$$\text{Nilai DPMO} = 9500$$

Pada tabel nilai sigma berdasar DPMO pada lampiran 2, didapatkan nilai DPMO yang mendekati adalah 9642 dengan nilai sigma sebesar 3,85 dan 9387 dengan nilai sigma sebesar 3,84. Maka dilakukan interpolasi nilai sigma, yaitu:

$$\frac{9642 - 9387}{9642 - 9500} = \frac{3,85 - 3,84}{3,85 - x}$$

$$\frac{255}{142} = \frac{0,01}{3,18 - x}$$

$$981,75 - 255x = 1,42$$

$$980,33 = 255x$$

$$x = 3,8444$$

Dari hasil pengolahan data DPMO (*Defect per Milion Opportunity*), dapat diketahui bahwa nilai DPMO sebesar 9500 yang dapat diartikan bahwa dari satu juta kesempatan yang ada akan terdapat 9500 kemungkinan bahwa proses produksi batu bata akan menghasilkan kuat tekan yang kurang dari 25 kg/cm². Sedangkan dari hasil perhitungan nilai sigma didapatkan bahwa nilai rata-rata sigma dari industri batu bata Cemorokandang yang dimiliki oleh Bapak Sugimin sebesar 3,8444 sigma. Dari hasil tersebut, terdapat peningkatan nilai sigma dari kondisi aktual terhadap kondisi optimal, yaitu mengalami peningkatan sebesar 0,65 sigma, dari sigma kondisi aktual sebesar 3,189 menjadi 3,8444 pada kondisi optimal. Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai DPMO dan nilai sigma pada kondisi aktual dan kondisi optimal.

Tabel 4.18 Tabel Perbandingan Nilai DPMO dan Nilai Sigma Pada Kondisi Aktual dan Kondisi Optimal

	Sebelum fase Improve	Setelah fase Improve
DPMO	45600	9500
Sigma	3,189	3,8444

Lalu berikut inilah analisa kapabilitas proses dengan menggunakan Cpm (Indeks Kapabilitas Proses) dan Cpmk (Indeks Kapabilitas *Output* Proses).

1. Perhitungan nilai σ

Table d₂ dengan replikasi 4 kali adalah 2,059

USL (*upper specification limit*) = 250

LSL (*lower specification limit*) = 25

$$\bar{\bar{R}} = 7,9524$$

$$\bar{\bar{X}} = 34,0814$$

$$\sigma = \frac{\bar{\bar{R}}}{d_2}$$

$$\sigma = \frac{7,9524}{2,059} = 3,862263$$

2. Perhitungan Cpm

Dikarenakan pelanggan hanya fokus terhadap batas minimum kuat tekan, maka perhitungan Cpm hanya menggunakan *Least Spesification Limit (LSL)* atau batas spesifikasi bawah saja.

$T = 30$ (keinginan perusahaan) + % off target

$$T = 30 + 3,3277 = 33,3277$$

$$Cpm = |LSL - T| / \{3\sqrt{(\bar{X} - T)^2 + \sigma^2}\}$$

$$Cpm = |25 - 33,3277| / \{3\sqrt{(34,0814 - 33,3277)^2 + 3,862263^2}\} = 0,71$$

3. Perhitungan Cpk

$$Cpk = \min\left(\frac{(USL - \bar{X})}{3\sigma}, \frac{(\bar{X} - LSL)}{3\sigma}\right)$$

$$Cpk = \min\left(\frac{(250 - 34,0814)}{3(3,862263)}, \frac{(34,0814 - 25)}{3(3,862263)}\right)$$

$$Cpk = \min(18,6349; 0,79) = 0,79$$

4. Perhitungan Cpmk

$$Cpmk = \frac{Cpk}{\sqrt{1 + \left\{\frac{\bar{X} - T}{\sigma}\right\}^2}}$$

$$Cpmk = \frac{0,79}{\sqrt{1 + \left\{\frac{34,0814 - 33,3277}{3,862263}\right\}^2}} = 0,77$$

Dari hasil perhitungan Cpm didapatkan hasil sebesar 0,71, yang dapat diartikan bahwa $Cpm < 1,00$, maka proses dianggap tidak mampu dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global. Lalu, untuk hasil Cpmk sebesar 0,77, yang dapat diartikan bahwa $Cpmk < 1,00$, maka proses dianggap tidak mampu memenuhi batas – batas toleransi (batas spesifikasi atas dan bawah, USL dan LSL) dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global. Walaupun nilai Cpm dan Cpmk tidak bisa mencapai nilai 1, tetapi telah adanya peningkatan yang signifikan antara Cpm dan Cpmk pada sebelum dan sesudah dilakukannya fase *Improve*, nilai Cpm pada awalnya hanya bernilai 0,49 dan meningkat menjadi 0,71 sedangkan untuk nilai Cpmk yang awalnya hanya bernilai 0,04 dan meningkat secara signifikan menjadi 0,77. Berikut ini adalah tabel perbandingan nilai Cpm dan Cpmk pada sebelum dan sesudah fase *Improve*.

Tabel 4.19 Tabel Perbandingan Nilai Cpm dan Cpmk Sebelum dan sesudah Fase *Improve*

	Sebelum fase <i>Improve</i>	Setelah fase <i>Improve</i>
<i>Cpm</i>	0,49	0,71
<i>Cpmk</i>	0,04	0,77

4.7 Pembahasan

Masalah yang dihadapi oleh Pengrajin Batu Bata Merah Kelurahan Cemorokandang Kecamatan Kedungkandang Kota Malang adalah kurangnya perhatian pengrajin terhadap kuat tekan yang dihasilkan dari batu bata. Dari hasil tahap pertama (*fase define*) didapatkan bahwa beberapa sampel batu bata yang diambil memiliki kuat tekan dibawah batas spesifikasi menurut Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78 (Handayani, 2010), yaitu pada hari produksi ke-5, 6, 7, 10, 11, dan 14 memiliki

kuat tekan dibawah 25 kg/cm². Lalu dilakukan pendefinisian proses kunci beserta pelanggan yang terlibat dalam proses dengan menggunakan diagram SIPOC (*Suppliers – Inputs – Processes – Outputs – Control*).

Tahap selanjutnya adalah tahap pengukuran kualitas pada kondisi aktual (fase *Measure*). Pada fase ini dilakukan pengukuran performa dengan menggunakan peta kendali X dan R pada data kuat tekan dan didapatkan hasil bahwa *process out of statistical control* yang disebabkan oleh adanya variasi penyebab khusus. Setelah itu dilakukan perhitungan *baseline performance* yang terdiri dari *Defect per Million Opportunity* (DPMO), nilai sigma, dan analisa kapabilitas baik Cpm dan Cpmk, maka dihasilkan nilai DPMO sebesar 45600 dengan nilai sigma sebesar 3,189, dengan nilai Cpm dan Cpmk masing-masing sebesar 0,49 dan 0,04 yang dapat diartikan bahwa kapabilitas proses dan *output* dianggap tidak mampu memenuhi batas – batas toleransi (batas spesifikasi atas dan bawah, USL dan LSL) dan tidak kompetitif untuk bersaing dipasar global. Kemudian dilakukan analisa penyebab permasalahan dengan menggunakan *fishbone diagram* pada fase *Analyze*. Dari analisa *fishbone diagram*, didapatkan bahwa faktor yang paling dominan dan dapat mempengaruhi kualitas kuat tekan batu bata merah adalah komposisi bahan baku (tanah liat : abu hasil pembakaran : serbuk gergaji), lama penggilingan, lama waktu penggilingan, dan posisi pembakaran.

Setelah penyebab masalah ditemukan, maka dilakukannya fase *Improve*, dengan menggunakan eksperimen *Taguchi* untuk menentukan *setting level* optimal dengan penggunaan *orthogonal array* L₉ 3⁴. Dari hasil eksperimen ini, setelah semua proses selesai dari tahap awal sampai tahap validasi didapatkan *setting level* optimal didapatkan hasil faktor yang paling signifikan adalah Faktor A level 2 untuk komposisi 75% tanah liat : 20% abu hasil pembakaran : 5% serbuk gergaji, Faktor C level 1 untuk lama pengeringan selama 3 hari, dan Faktor D level 2 untuk posisi pembakaran terbaik di tengah. Sedangkan faktor yang kurang berpengaruh secara signifikan adalah Faktor B level 2 yaitu lama penggilingan 1,5 jam. Setelah didapatkannya faktor optimal, maka dilakukan pengujian konfirmasi sesuai dengan ketentuan faktor optimal, tetapi untuk fase pembakaran dikarenakan belum adanya fasilitas yang memadai untuk proses pembakaran dalam posisi tengah saja, maka dilakukan pembakaran dengan penyusunan batu bata dengan posisi awal yaitu bawah, tengah, dan atas. Untuk uji kuat tekan yang dilaksanakan setelah semua proses produksi selesai, *output* batu bata merah yang digunakan hanya batu bata yang sesuai dengan keempat faktor optimal tersebut.

Tahap selanjutnya yaitu tahap evaluasi (fase *Control*) dengan menilai kapabilitas proses setelah penerapan solusi perbaikan. Hasil yang diperoleh yaitu bahwa terjadi penurunan nilai DPMO dari 45.600 menjadi 9.500 dan peningkatan level sigma dari 3,189 menjadi 3,8444. Selain itu, dilakukannya analisa kapabilitas proses (Cpm) yang mengalami peningkatan dari 0,49 menjadi 0,71 dan analisis kapabilitas *output* proses (Cpmk) yang mengalami peningkatan secara signifikan dari 0,04 menjadi 0,79, walaupun menurut *Six Sigma* nilai tersebut belum mencukupi agar perusahaan dianggap layak dan mampu dan kompetitif untuk bersaing secara global, tetapi telah terjadi peningkatan proses ataupun *output* yang dihasilkan oleh perusahaan. Pada hasil eksperimen konfirmasi juga terjadi peningkatan kualitas kuat tekan yang pada mulanya memiliki rata – rata $26,67 \text{ kg/cm}^2$ dan setelah dilakukan eksperimen konfirmasi didapatkan hasil rata – rata kuat tekan sebesar $34,0814 \text{ kg/cm}^2$. Dapat disimpulkan bahwa solusi perbaikan dengan eksperimen *Taguchi* untuk menyelesaikan masalah telah sesuai dan secara umum *six sigma* dengan siklus DMAIC berhasil diterapkan. Penggunaan *setting* level optimal juga dapat diimplementasikan oleh Pengrajin Industri Batu Bata Merah Kelurahan Cemorokandang Kecamatan Kedungkandang Kota Malang untuk menghasilkan batu bata merah yang memiliki kuat tekan yang berkualitas.

BAB V PENUTUP

Pada bagian penutup akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran yang diperlukan baik bagi perusahaan maupun bagi penelitian selanjutnya.

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pengolahan data dengan metode *Six Sigma* menggunakan siklus DMAIC dan pendekatan metode *Taguchi* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik kualitas kunci berdasarkan data variabel dari produk batu bata didapatkan hasil pada hari produksi ke-5, 6, 7, 10, 11, dan 14 belum memenuhi batas spesifikasi menurut Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78, yaitu minimal 25 kg/cm^2 dan maksimal 250 kg/cm^2 .
2. Analisa kapabilitas proses dihitung berdasarkan nilai Kapabilitas Proses, nilai *Defect per Million Opportunity* (DPMO), dan nilai level sigma pada hasil pengukuran kuat tekan batu bata merah. Berdasarkan hasil penelitian, nilai CPM bernilai 0,49 dan Cpmk bernilai 0,04, keduanya memiliki nilai kurang dari 1, yang dapat diartikan bahwa proses dan *output* belum dianggap mampu dan kompetitif untuk bersaing secara global. Nilai DPMO dan nilai level sigma pada kondisi aktual sebesar 45600 dengan level sigma 3,189.
3. Berdasarkan analisis *Fish Bone Diagram*, didapatkan hasil bahwa penyebab kuat tekan batu bata merah berada dibawah standar adalah aspek komposisi bahan baku (tanah liat : abu hasil pembakaran : serbuk gergaji), lama penggilingan, lama pengeringan, dan posisi pembakaran.
4. Berdasarkan hasil dari Tabel respon dan ANOVA untuk data variabel didapatkan *setting level* optimal dari faktor – faktor terkendali, faktor yang memiliki tingkat signifikan tinggi terhadap peningkatan kuat tekan batu bata pada eksperimen ini yaitu komposisi bahan baku (75% tanah liat : 20% abu hasil pembakaran tebu : 5% serbuk gergaji), lama pengeringan selama 3 hari, dan posisi pembakaran berada ditengah. Sedangkan faktor yang kurang berpengaruh secara signifikan adalah Faktor B level 2 yaitu lama penggilingan 1,5 jam. Faktor optimal tersebut adalah faktor yang digunakan dalam pengujian konfirmasi, tetapi dikhususkan untuk proses pembakaran, dikarenakan belum adanya alat pembakaran yang

terfokus pada bagian tengah tungku saja, maka proses pembakaran tetap dilakukan dengan ketiga posisi awal, yaitu posisi bawah, tengah, dan atas. Akan tetapi untuk pengujian kuat tekan, *output* batu bata merah yang diuji hanya pada posisi tengah saja.

5. Setelah dilakukan perbaikan dengan eksperimen *Taguchi* terjadi peningkatan kapabilitas proses, anatar lain nilai kapabilitas proses, nilai DPMO, dan level sigma yaitu nilai Cpm bernilai 0,71 yang pada awalnya bernilai 0,49 dan nilai Cpmk bernilai 0,79 yang pada awalnya bernilai 0,04, walaupun nilai proses dan *output* masih belum dianggap mampu dan kompetitif untuk bersaing secara global, tetapi sudah ada peningkatan kapabilitas proses dan *output* yang dilakukan. Sedangkan untuk nilai DPMO sebesar 9500 dengan nilai sigma 3,8444, nilai DPMO mengalami penurunan dari kondisi aktual dan nilai sigma mengalami peningkatan dari kondisi aktual.

5.2 SARAN

Berikut ini saran yang bertujuan untuk pengembangan tentang metode *Six Sigma* dan metode *Taguchi* serta untuk penelitian – penelitian sejenis kedepannya.

1. Untuk penelitian sejenis disarankan menggunakan objek penelitian yang mempunyai data variabel dan data atribut berdasarkan SNI. Sedangkan objek penelitian ini hanya menggunakan data variabel yang sudah berdasarkan batas spesifikasi menurut Standar Industri Indonesia Standar Kuat Tekan Batu Bata SII-0021-78.
2. Untuk penelitian sejenis disarankan memperhitungkan kandungan air dalam tanah liat sebagai bentuk perlakuan yang berbedea pada setiap jenis tanah.
3. Untuk penelitian sejenis disarankan dalam pembuatan batu bata menggunakan tungku pembakaran otomatis agar hasil pembakaran tidak dipengaruhi oleh cuaca agar hasil yang diinginkan lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, Dorothea Wahyu. 2004. *Pengendalian Kualitas Statistik Pendekatan Kuantitatif dalam Manajemen Kualitas*. Yogyakarta : Penerbit Andi Yogyakarta.
- Belavendram, Nicolo. 1995. *Quality by Design Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. London : Prentice Hall International (UK) Limited.
- Gaspersz, Vincent. 2002. *Pedoman Implementasi Program Six Sigma Terintegrasi dengan ISO 9001:2000, MBNQA & HACCP*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
- Handayani, Sri. 2010. "Kualitas Batu Bata Merah Dengan Penambahan Serbuk Gergaji". *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. Vol 12 No 1. Hlm: 41-50.
- Hartono, 2011."Kajian Pemakaian Bata Semen Dengan Agregat Limbah Gergajian Kayu Sebagai Bahan Dinding Kontruksi Gedung". *Wahana Teknik Sipil*. Vol 16 No 2. Hlm: 87 -95.
- Huda, Miftakhul dan Erna Hastuti. 2012. "Pengaruh Temperatur Pembakaran dan Penambahan Abu Terhadap Kualitas Batu Bata". *Jurnal Neutrino*. Vol 4 No 2. Hlm : 142 – 152.
- Marlina, Dewi, Eko Pujiyanto, dan Cucuk Nur Rosidi. 2003."Perancangan *Setting Level Optimal* dan Penentuan *Quality Loss Function* Tegel dengan Metode Taguchi". *Jurnal Performa Teknik Industri Universitas Sebelas Maret, Surakarta*. Vol 2 No.1. Hlm: 31 - 39.
- Montgomery, Douglas. C. 2009. *Introduction to Statistical Quality Control. Sixth Edition*. United States of America : John Wiley & Sons. Inc.
- Nur, Oscar Fithrah. 2008. "Analisa Sifat Fisis dan Mekanis Batu Bata Berdasarkan Sumber Lokasi dan Posisi Batu Bata Dalam Proses Pembakaran". *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol 4 No.2. Hlm : 1-14.
- Oakland, John S. 2003. *Statistical Process Control Fifth Edition*. Oxford : Butterworth-Heinemann.
- Permatasari, Shabrina Rahma. 2013."Penerapan metode Six Sigma dengan Pendekatan Metode Taguchi Untuk Menurunkan Produk Cacat". *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*. Vol 2 No 1. Hlm : 114 - 126.
- Putra, Susanto Dwi. 2014. "Pemanfaatan Silica Fume Limbah Sandblasting Untuk Meningkatkan Kuat Tekan Batako Pejal Dengan Taguchi Quality". *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri*. Vol 2 No 2. Hlm : 438 - 447.
- Sharma, G.V.S.S. 2014."A DMAIC Approach for Process Capability Improvement an Engine Crankshaft Manufacturing Process". *Journal Industrial Engineering International*. Vol 10:65. page : 1-11.

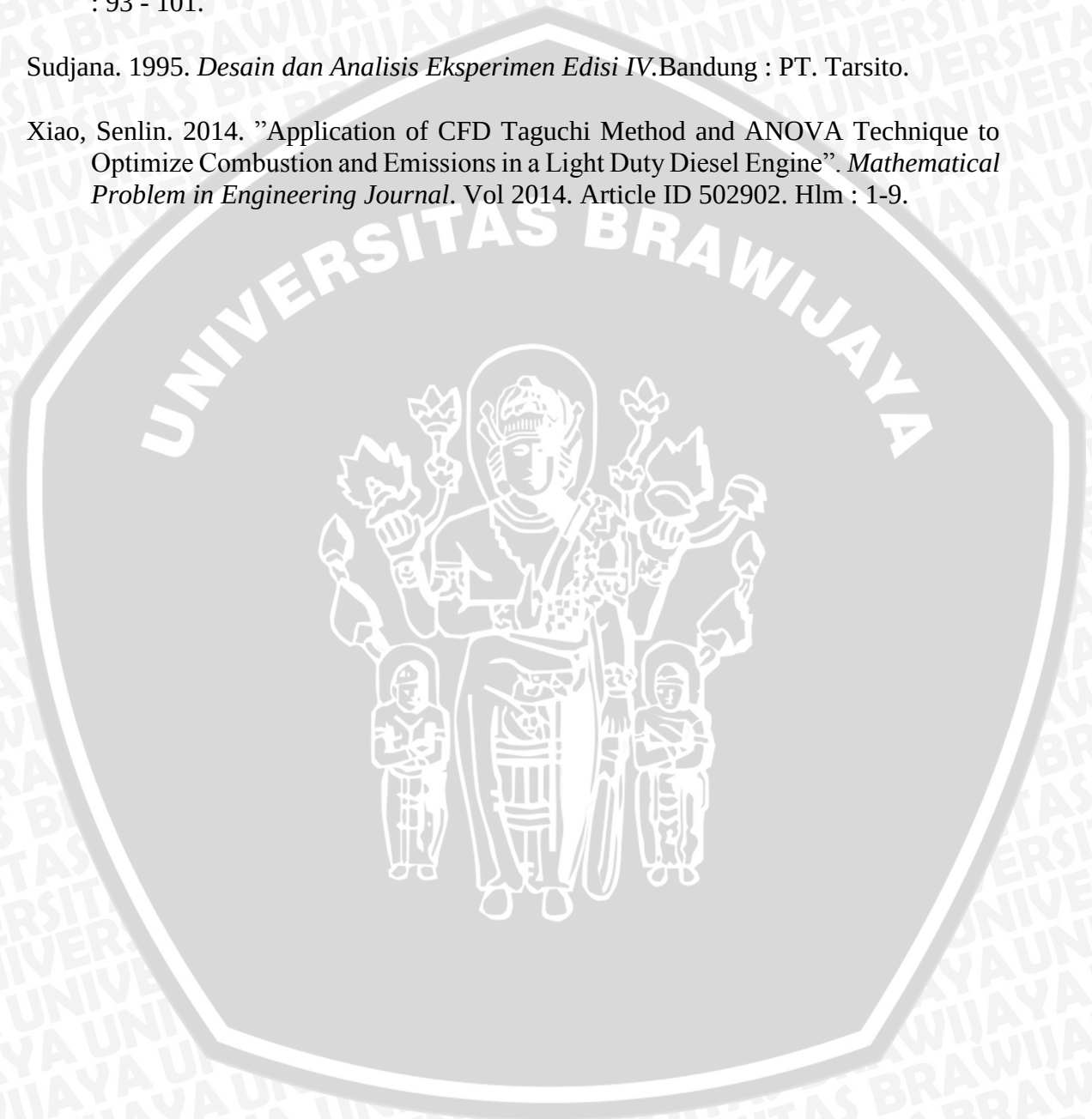
Soejanto, Irwan. 2008. *Rekayasa Kualitas: Eksperimen dengan Teknik Taguchi*. Surabaya : Yayasan Humaniora.

Sugiyono. 2009. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung : Alfabeta.

Sudarsana, I Ketut. 2011. " Karakteristik Batu Bata Tanpa Pembakaran Terbuat Dari Abu Sekam Padi dan Serbuk Batu Tabas ". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol 15 No.1.Hlm : 93 - 101.

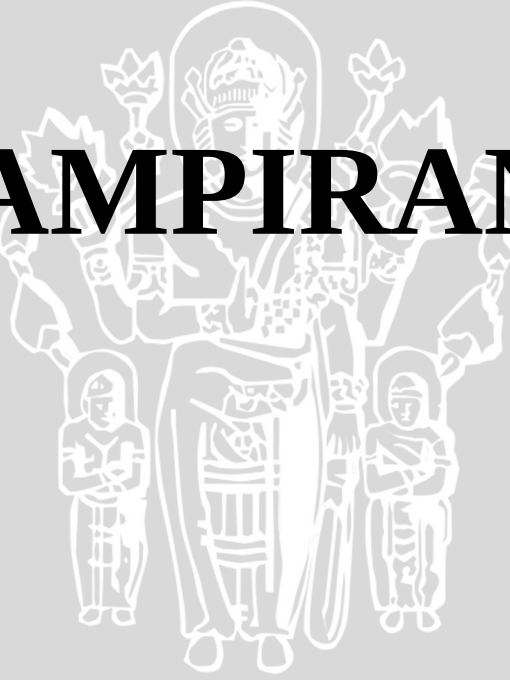
Sudjana. 1995. *Desain dan Analisis Eksperimen Edisi IV*.Bandung : PT. Tarsito.

Xiao, Senlin. 2014. "Application of CFD Taguchi Method and ANOVA Technique to Optimize Combustion and Emissions in a Light Duty Diesel Engine". *Mathematical Problem in Engineering Journal*. Vol 2014. Article ID 502902. Hlm : 1-9.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

LAMPIRAN



Lampiran 1 Tabel Distribusi Normal

Standard Normal Probabilities

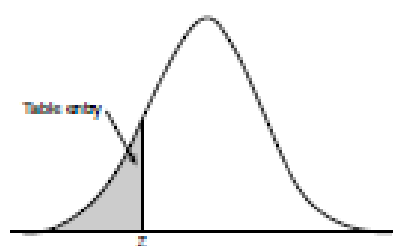


Table entry for z is the area under the standard normal curve to the left of z .

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
-3.4	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002
-3.3	.0005	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003
-3.2	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
-3.1	.0010	.0009	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008	.0007	.0007
-3.0	.0013	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011	.0011	.0011	.0010	.0010
-2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
-2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
-2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
-2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
-2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
-2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
-2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
-2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
-2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
-2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
-1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
-1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
-1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
-1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
-1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
-1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
-1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
-1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
-1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
-1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
-0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
-0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
-0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2296	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
-0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
-0.5	.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
-0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
-0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
-0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
-0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
-0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

Standard Normal Probabilities

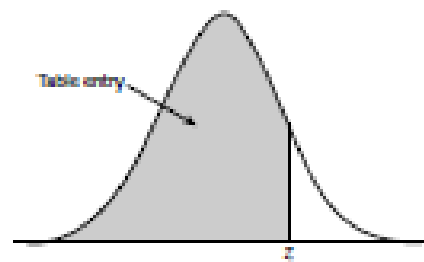


Table entry for z is the area under the standard normal curve to the left of z .

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2.0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2.9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3.0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3.1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3.2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3.3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3.4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

Lampiran 2 Tabel Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola

LAMPIRAN
Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
0,00	933.193	0,51	838.913	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	519.939	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

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gasparisz (2002)

Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola (Lanjutan)

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
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	16.262
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	22.215	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

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Konversi DPMO ke Nilai Sigma Berdasarkan Konsep Motorola (Lanjutan)

Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO	Nilai Sigma	DPMO
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	Catatan: Tabel konversi ini Mencakup pengeseran 1,5- sigma untuk semua nilai Z	
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		

Sumber: nilai-nilai dibangkitkan menggunakan program oleh: Vincent Gaspersz (2002)

Lampiran 3 Table of Control Chart Constants

Table of Control Chart Constants

	X-bar Chart Constants		for sigma estimate	R Chart Constants		S Chart Constants	
Sample Size = n	A ₂	A ₃	d ₂	D ₃	D ₄	B ₃	B ₄
2	1.880	2.659	1.128	0	3.267	0	3.267
3	1.023	1.954	1.693	0	2.574	0	2.568
4	0.729	1.628	2.059	0	2.282	0	2.266
5	0.577	1.427	2.326	0	2.114	0	2.089
6	0.483	1.287	2.534	0	2.004	0.030	1.970
7	0.419	1.182	2.704	0.076	1.924	0.118	1.882
8	0.373	1.099	2.847	0.136	1.864	0.185	1.815
9	0.337	1.032	2.970	0.184	1.816	0.239	1.761
10	0.308	0.975	3.078	0.223	1.777	0.284	1.716
11	0.285	0.927	3.173	0.256	1.744	0.321	1.679
12	0.266	0.886	3.258	0.283	1.717	0.354	1.646
13	0.249	0.850	3.336	0.307	1.693	0.382	1.618
14	0.235	0.817	3.407	0.328	1.672	0.406	1.594
15	0.223	0.789	3.472	0.347	1.653	0.428	1.572
16	0.212	0.763	3.532	0.363	1.637	0.448	1.552
17	0.203	0.739	3.588	0.378	1.622	0.466	1.534
18	0.194	0.718	3.640	0.391	1.608	0.482	1.518
19	0.187	0.698	3.689	0.403	1.597	0.497	1.503
20	0.180	0.680	3.735	0.415	1.585	0.510	1.490
21	0.173	0.663	3.778	0.425	1.575	0.523	1.477
22	0.167	0.647	3.819	0.434	1.566	0.534	1.466
23	0.162	0.633	3.858	0.443	1.557	0.545	1.455
24	0.157	0.619	3.895	0.451	1.548	0.555	1.445
25	0.153	0.606	3.931	0.459	1.541	0.565	1.435

Control chart constants for X-bar, R, S, Individuals (called "X" or "I" charts), and MR (Moving Range) Charts.

NOTES: To construct the "X" and "MR" charts (these are companions) we compute the Moving Ranges as:

R_1 = range of 1st and 2nd observations, R_2 = range of 2nd and 3rd observations, R_3 = range of 3rd and 4th observations, etc. with the "average" moving range or "MR-bar" being the average of these ranges with the "sample size" for each of these ranges being $n = 2$ since each is based on consecutive observations ... this should provide an estimated standard deviation (needed for the "I" chart) of

$\sigma = (\text{MR-bar})/d_2$ where the value of d_2 is based on, as just stated, $n = 2$.

Similarly, the UCL and LCL for the MR chart will be: $UCL = D_4(\text{MR-bar})$ and $LCL = D_3(\text{MR-bar})$

but, since $D_3 = 0$ when $n = 0$ (or, more accurately, is "not applicable") there will be no LCL for the MR chart, just a UCL.

Lampiran 4 Tabel Distribusi F

Titik Persentase Distribusi F untuk Probabilita = 0,05

df untuk penyebut (N2)	df untuk pembilang (N1)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246	246
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.42	19.42	19.43	19.43
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.70
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.86
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.62
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.94
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.51
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.22
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	3.01
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.85
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.72
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.62
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.53
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.46
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.40
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.35
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.31
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.27
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.23
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.20
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.18
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.15
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.13
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.11
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.09
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.07
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	2.06
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.04
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	2.03
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	2.01
31	4.16	3.30	2.91	2.68	2.52	2.41	2.32	2.25	2.20	2.15	2.11	2.08	2.05	2.03	2.00	2.00
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.04	2.01	1.99	1.99
33	4.14	3.28	2.89	2.66	2.50	2.39	2.30	2.23	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03	2.00	1.98	1.98
34	4.13	3.28	2.88	2.65	2.49	2.38	2.29	2.23	2.17	2.12	2.08	2.05	2.02	1.99	1.97	1.97
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.48	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.07	2.04	2.01	1.99	1.96	1.96
36	4.11	3.26	2.87	2.63	2.48	2.36	2.28	2.21	2.15	2.11	2.07	2.03	2.00	1.98	1.95	1.95
37	4.11	3.25	2.86	2.63	2.47	2.36	2.27	2.20	2.14	2.10	2.06	2.02	2.00	1.97	1.95	1.95
38	4.10	3.24	2.85	2.62	2.46	2.35	2.26	2.19	2.14	2.09	2.05	2.02	1.99	1.96	1.94	1.94
39	4.09	3.24	2.85	2.61	2.46	2.34	2.26	2.19	2.13	2.08	2.04	2.01	1.98	1.95	1.93	1.93
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.92
41	4.08	3.23	2.83	2.60	2.44	2.33	2.24	2.17	2.12	2.07	2.03	2.00	1.97	1.94	1.92	1.92
42	4.07	3.22	2.83	2.59	2.44	2.32	2.24	2.17	2.11	2.06	2.03	1.99	1.96	1.94	1.91	1.91
43	4.07	3.21	2.82	2.59	2.43	2.32	2.23	2.16	2.11	2.06	2.02	1.99	1.96	1.93	1.91	1.91
44	4.06	3.21	2.82	2.58	2.43	2.31	2.23	2.16	2.10	2.05	2.01	1.98	1.95	1.92	1.90	1.90
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89	1.89

Lampiran 5 Proses Pembuatan dan Pengujian Kuat Tekan Batu Bata Merah Cemorokandang

Berikut ini adalah lampiran dokumentasi proses pembuatan batu bata dan pengukuran kuat tekan.

5.1 Persiapan Bahan Baku Utama (Tanah liat. Abu hasil Pembakaran Tebu, dan Serbuk Gergaji)



5.2 Penggilingan dengan menggunakan mesin penggiling untuk campuran bahan utama dan manual

a. Mesin Penggiling





5.3 Papan penggiling manual



5.4 Hasil adonan penggilingan



5.5 Proses pencetakan adonan hasil gilingan mesin



5.6 Proses Pengeringan Batu Bata



5.7 Proses Penyusunan Tungku Pembakaran



5.8 Proses Pembakaran



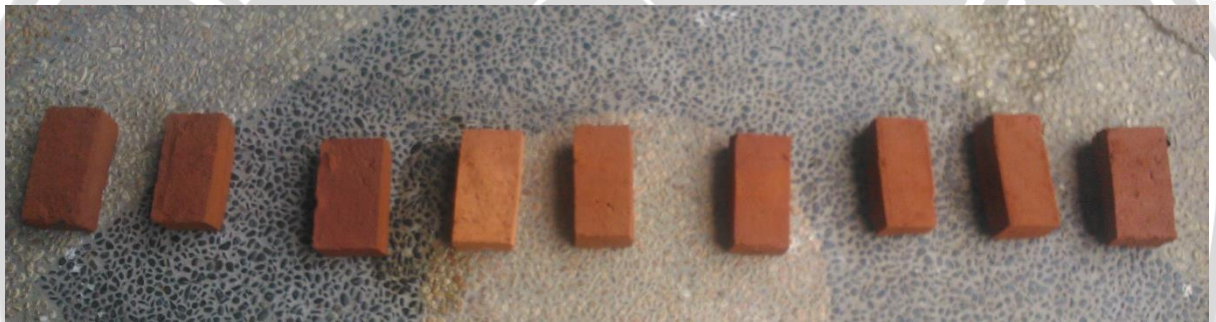
5.9 Hasil pembakaran



5.10 Batu Bata Merah Hasil Uji Konfirmasi



5.11 Proses Pemotongan Batu Bata sebelum uji kuat tekan





5.12 Pengujian Kuat Tekan di Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya

