



TUGAS AKHIR - SS 145561

*MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS BULK
DENSITY* PADA BAHAN BAKU CURAH DENGAN
METODE *GAUGE R&R*

Ira Oktarini Permatasari
NRP 1313 030 098

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, MT.

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - SS 145561

***MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS BULK
DENSITY PADA BAHAN BAKU CURAH DENGAN
METODE GAUGE R&R***

Ira Oktarini Permatasari
NRP 1313 030 098

Dosen Pembimbing
Dr. Muhammad Mashuri, MT.

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN STATISTIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL ASSIGNMENT - SS 145561

**MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS BULK
DENSITY OF BULK RAW MATERIALS WITH
GAUGE R&R METHODS**

Ira Oktarini Permatasari
Student Reg. No. 1313 030 098

Advisor
Dr. Muhammad Mashuri, MT.

**STUDY PROGRAM DIPLOMA III
MAJOR IN STATISTICS
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

**MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS BULK
DENSITY PADA BAHAN BAKU CURAH DENGAN
METODE GAUGE R&R**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada

Program Studi Diploma III Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

IRA OKTARINI PERMATASARI

NRP. 1313 030 098

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. Muhammad Mashuri, MT.

NIP. 19620408 198701 1 001

()

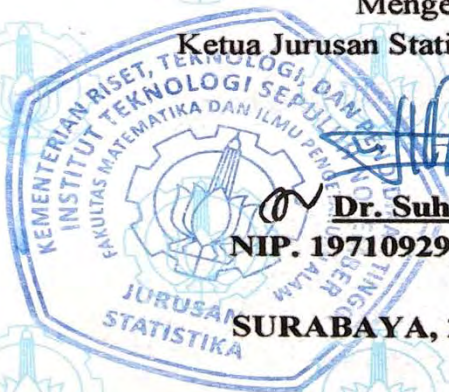
Mengetahui

Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS


Dr. Suhartono

NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, 21 JUNI 2016



**LEMBAR PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Ira Oktarini Permatasari
Nrp. : 1313 030 098
Jurusan / Fak. : Diploma III Statistika / FMIPA
Alamat kontak : Gunung Sari Indah D-20 Surabaya
a. Email : iraoctarini.p@gmail.com
b. Telp-HP : 085733043215

Menyatakan bahwa semua data yang saya upload di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalti-Free Right*) kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Measurement System Analysis Bulk Density pada Bahan Baku Curah dengan Metode Gauge R & R

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalihi-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Surabaya
Pada tanggal : 27 Jun 2016

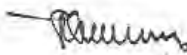
Yang menyatakan,



Ira Oktarini Permatasari

Nrp. 1313 030 098

Dosen Pembimbing 1



Dr. Muhammad Mashuri, M.T.

NIP. 19620408 198701 1001

KETERANGAN :

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS BULK DENSITY
PADA BAHAN BAKU CURAH DENGAN METODE
GAUGE R&R

Nama Mahasiswa : Ira Oktarini Permatasari
NRP : 1313 030 098
Program Studi : Diploma III
Jurusan : Statistika FMIPA ITS
Pembimbing : Dr. Muhammad Mashuri, MT.

ABSTRAK

Industri petrokimia merupakan industri berbahan baku utama produk migas. Penelitian ini mengambil studi kasus dari salah satu perusahaan industri petrokimia. Perusahaan memiliki permasalahan mengenai *stock* administrasi bahan baku curah yang berbeda dengan *stock* fisik. Hal tersebut mempengaruhi *stock opname* bahan baku curah di gudang. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengetahui penyebab yang disebutkan di atas adalah analisis *Bulk Density*. Analisis *Bulk Density* masih menggunakan alat dan metode manual. Hipotesis, adanya perbedaan hasil pada *stock opname* dapat disebabkan oleh analisis *Bulk Density* tidak akurat dan tidak konsistennya hasil pengukuran. Jadi penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari faktor operator dan alat termasuk interaksinya terhadap keakurasian analisis *Bulk Density* dan mengetahui apakah *measurement system* pada analisis *Bulk Density* telah *acceptable*. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan *Measurement System Analysis* menggunakan metode *Gauge R&R*. Pada penelitian ini dilakukan dengan variabel pengamatan *Bulk Density Untamp* dan *Tamp*. Berdasarkan hasil perhitungan MSA *Gauge R&R*, didapatkan sistem pengukuran pada masing-masing variabel belum *acceptable*. Hal ini dapat diketahui dari nilai *percent contribution*, *percent study variance*, dan nilai *ndc*.

Kata Kunci: Industri Petrokimia, *Stock* Administrasi dan *Stock* Fisik, Bahan Baku Curah, *Bulk Density*, *Measurement System Analysis Gauge R&R*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

*MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS BULK DENSITY OF
BULK RAW MATERIALS WITH
GAUGE R&R METHODS*

Student Name : Ira Oktarini Permatasari
Student Reg. No. : 1313 030 098
Study Program : Diploma III
Departement : Statistika FMIPA ITS
Advisor : Dr. Muhammad Mashuri, MT.

ABSTRACT

The petrochemical industry is the main raw material industry of oil and gas products. This research is a case study about one of the petrochemical companies. The company has problem in which administration stock of bulk raw material is different from the physical stock. It affects on the stock opname of bulk raw materials in the warehouse. One of methods that can be used to find the cause mentioned above is bulk density analysis. Bulk Density Analysis is still using manual tools and methods. Hypothetically, the difference result which is appear on stock opname can be caused by inaccurate bulk density analysis and inconsistency on measurement results. So, this research aims are to find any affections of operators and tools factor, including their interaction, onto the accuracy of bulk density analysis and to find whether the measurement system of bulk density analysis is acceptable. These measurements can be performed by using the Gauge R & R Measurement System Analysis. This study is conducted by observating Bulk Density Untamp and Tamp variables . Based on Gauge R & R MSA calculations, measurement system on each variables are unacceptable. It can be seen from contribution percentage, study variance percentage, and the NDC value.

Keyword: *The Petrochemical Industry, Administration Stock dan Physical Stock, Bulk Raw Materials, Bulk Density, Measurement System Analysis Gauge R&R*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Rancangan Percobaan	5
2.2 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN ($0, \sigma^2$)	7
2.2.1 Asumsi Residual Identik	8
2.2.2 Asumsi Residual Independen	8
2.2.3 Asumsi Residual Distribusi Normal	9
2.3 MSA	10
2.3.1 MSA Tipe I	11
2.3.2 MSA Tipe II	11
2.4 Bulk Density	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Sumber Data	17
3.2 Variabel Penelitian	17
3.2 Langkah Analisis	18
3.2 Diagram Alir	19
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 Rancangan Percobaan	21

4.1.1 <i>Bulk Density Untamp</i>	21
4.1.2 <i>Bulk Density Tamp</i>	27
4.2 MSA	33
4.2.1 Hasil Pengukuran <i>Bulk Density Untamp</i>	33
4.2.2 Hasil Pengukuran <i>Bulk Density Tamp</i>	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Alat yang digunakan untuk analisis <i>Bulk Density</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Alir	20
Gambar 4.1 Grafik <i>Main Effect</i> BD <i>Untamp</i>	21
Gambar 4.2 Grafik <i>Interaction</i> BD <i>Untamp</i>	22
Gambar 4.3 Asumsi Residual Identik BD <i>Untamp</i>	24
Gambar 4.4 Asumsi Residual Independen BD <i>Untamp</i>	25
Gambar 4.5 Asumsi Residual Distribusi Normal BD <i>Untamp</i>	26
Gambar 4.6 Grafik <i>Main Effect</i> BD <i>Tamp</i>	27
Gambar 4.7 Grafik <i>Interaction</i> BD <i>Tamp</i>	28
Gambar 4.8 Asumsi Residual Identik BD <i>Tamp</i>	30
Gambar 4.9 Asumsi Residual Independen BD <i>Tamp</i>	31
Gambar 4.10 Asumsi Residual Distribusi Normal BD <i>Tamp</i> .	32
Gambar 4.11 Histogram Komponen Varian Variabel <i>Untamp</i>	35
Gambar 4.12 Peta Kendali $\bar{X} - R$ pada Variabel <i>Untamp</i>	36
Gambar 4.13 Grafik Measurement Alat Variabel <i>Untamp</i>	37
Gambar 4.14 Grafik Measurement Operator Variabel <i>Untamp</i>	38
Gambar 4.15 Grafik Measurement Interaksi Variabel <i>Untamp</i>	39
Gambar 4.16 Histogram Komponen Varian Variabel <i>Tamp</i>	41
Gambar 4.17 Peta Kendali $\bar{X} - R$ pada Variabel <i>Tamp</i>	42
Gambar 4.18 Grafik Measurement Alat Variabel <i>Tamp</i>	43
Gambar 4.19 Grafik Measurement Operator Variabel <i>Tamp</i> ...	44
Gambar 4.20 Grafik Measurement Interaksi Variabel <i>Tamp</i> ...	45

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Rancangan Faktorial	5
Tabel 2.2 ANOVA	7
Tabel 2.3 Kriteria Pengujia Durbin watson	9
Tabel 3.1 Variabel Pengamatan	17
Tabel 3.2 Ukuran Alat	17
Tabel 3.2 Rancangan Percobaan	18
Tabel 4.1 Tabel ANOVA BD <i>Untamp</i>	23
Tabel 4.2 Tabel ANOVA BD <i>Tamp</i>	29
Tabel 4.3 Hasil Analisis MSA Gauge R&R pada Variabel <i>Untamp</i>	33
Tabel 4.4 Hasil Analisis MSA Gauge R&R pada Variabel <i>Tamp</i>	39

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 <i>Output Minitab ANOVA Variabel Untamp</i>	49
Lampiran 2 <i>Output Minitab Uji Perbandingan Tukey Variabel Untamp</i>	49
Lampiran 3 <i>Output Minitab Uji Glejser Variabel Untamp</i>	51
Lampiran 4 <i>Output Minitab MSA Variabel Untamp</i>	51
Lampiran 5 <i>Output Minitab ANOVA Variabel Tamp</i>	52
Lampiran 6 <i>Output Minitab Uji Perbandingan Tukey Variabel Tamp</i>	52
Lampiran 7 <i>Output Minitab Uji Glejser Variabel Tamp</i>	55
Lampiran 8 <i>Output Minitab MSA Variabel Tamp</i>	55
Lampiran 9 <i>Output SPSS Distribusi Normal Variabel Untamp dan Tamp</i>	56
Lampiran 10 <i>Perhitungan Uji Durbin Watson Variabel Untamp</i>	56
Lampiran 11 <i>Perhitungan Uji Durbin Watson Variabel Tamp</i>	57

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri petrokimia merupakan industri berbahan baku utama produk migas (naphta, kondensat merupakan produk samping eksploitasi gas bumi dan gas alam), batubara, gas metana batubara, serta biomassa yang mengandung senyawa-senyawa olefin, aromatik, n-parrafin, gas sintesa, asetilena dan menghasilkan senyawa organik diturunkan dari bahan baku utama. Industri petrokimia dapat dikelompokkan secara horisontal dan vertikal. Pengelompokan industri petrokimia secara horisontal terdiri atas industri petrokimia *methane-based* (C-1), industri petrokimia olefin, dan industri petrokimia aromatik, sedangkan pengelompokan secara vertikal yaitu industri petrokimia hulu, industri petrokimia antara dan industri petrokimia hilir (Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia, No.14/M-IND/PER/1/2010). Penelitian ini mengambil studi kasus dari salah satu perusahaan di bidang industri petrokimia.

Perusahaan tersebut merupakan industri petrokimia *methane-based* (C-1) dengan turunannya amonia, metanol, urea, *formaldehid*, asam asetat, dan sebagainya. Industri petrokimia *methane-based* (C-1) merupakan bagian dari dua kelompok industri petrokimia yaitu kelompok horizontal dan vertikal tepatnya industri petrokimia hulu. Perusahaan tersebut telah mendapatkan ISO 9001:2008 oleh Sucofindo. Menurut perusahaan, akhir-akhir ini memiliki permasalahan pada persediaan bahan baku mentah digudang mengenai *stock* administrasi bahan baku curah yang berbeda dengan *stock* fisik. Hal tersebut mempengaruhi *stock opname* bahan baku curah di gudang. *Stock opname* bahan baku curah di gudang diantaranya KCL, *Phosphat Rock*, Belerang, ZA, Batubara dan DAP. Perhitungan *stock* administrai atau disebut juga *stock* akhir perusahaan tersebut adalah *stock* awal ditambah kedatangan

dikurangi konsumsi, sedangkan *stock* fisik (tonase) didapatkan perhitungan dari volume dikali *Bulk Density*. Salah satu cara untuk mengetahui penyebab adanya selisih antara *stock* fisik dan *stock* administrasi dilihat dari analisis *Bulk Density*. *Bulk Density* atau kerapatan tanah merupakan perbandingan antara massa atau berat tanah kering dengan total volume dari sampel basah (American Society for Testing and Material (ASTM), 1989). *Bulk Density* merupakan karakteristik kualitas berupa sifat fisik. Penelitian sebelumnya mengenai *Bulk Density* dilakukan oleh Marpaung, 2011 sifat fisik biskuit dapat dilihat dari *Bulk Density* (LBD dan TBD) dan berpengaruh terhadap formula biskuit.

Analisis *Bulk Density* masih menggunakan alat dan metode secara manual sehingga perlu diketahui apakah akurasi alat yang digunakan telah *acceptable*. Pada ISO 9001:2008 klausul 7.6 menjelaskan tentang pengendalian peralatan, pemantauan dan pengukuran. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan *Measurement System Analysis* menggunakan metode *Gauge Repeatability and Reproducibility (Gauge R&R)*. *Measurement system* adalah kumpulan dari ukuran dan peralatan, prosedur, manusia, dan lingkungan yang menjadi karakteristik penentu keadaan menjadi terukur. Penyebab ketidaktepatan pengukuran (*error*) akan lebih mudah dideteksi ketika proses *measurement system* diperlihatkan (Joglekar, Anand M., 2003). Pada penelitian sebelumnya mengenai *Measurement System Analysis* dilakukan oleh Shofi, 2014 bahwa alat ukur X-Ray, operator dan cara pengukuran yang dilakukan sudah baik serta dapat diterapkan dalam pengukuran. Pada studi kasus yang diambil menggunakan *Measurement System Analysis* tipe II dengan melakukan rancangan percobaan faktorial dua faktor. Faktor-faktor yang terlibat dalam rancangan percobaan yaitu operator dan alat. Alasan menggunakan faktor operator dan alat untuk dapat mengetahui pengaruh interaksi antar faktor tersebut. *Measurement System Analysis* Tipe II atau disebut *Gauge R&R* adalah perkiraan dari kombinasi *reproducibility* dan *repeatability*. (Joglekar, Anand M., 2003). Tujuan dari penelitian ini adalah

untuk mengetahui hasil keakuratan analisis *Bulk Density* dan *Measurement system* pada analisis *Bulk Density* telah *acceptable* atau belum. Selain itu manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah informasi ini akan memberikan keputusan dalam melakukan tindakan kalibrasi pada alat ukur atau tidak maupun mengganti alat ukur yang lebih otomatis.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang muncul dalam penelitian ini didasarkan pada latar belakang diatas dengan hipotesis adanya perbedaan hasil *stock opname* dapat disebabkan oleh analisis *Bulk Density* tidak akurat dan tidak konsistennya hasil pengukuran, sehingga ingin diketahui apakah terdapat pengaruh dari faktor operator dan alat termasuk interaksinya terhadap keakuratan analisis *Bulk Density* dan apakah *Measurement system* pada analisis *Bulk Density* telah *acceptable*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui ada atau tidak pengaruh dari faktor operator dan produk serta interaksinya maupun alat dan produk serta interaksinya terhadap hasil keakuratan analisis *Bulk Density* dan *Measurement system* pada analisis *Bulk Density* telah *acceptable* atau belum.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini berdasar dari tujuan penelitian diatas adalah sebagai berikut.

1. Jenis bahan baku yang akan dianalisis adalah BELERANG.
2. Pengambilan sampel bahan baku dilakukan setiap 1 bulan sekali.
3. Analisis *Bulk Density* dilakukan dalam satu hari setelah proses sampling bahan baku.

4. Operator dari perusahaan yang menganalisis *Bulk Density* hanya satu operator sehingga ditambahkan satu operator dari peneliti.
5. Dalam melakukan pengukuran operator diasumsikan memiliki kemampuan yang sama.
6. Analisis *Bulk Density* masih dilakukan secara manual dan *in house methods*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan informasi kepada perusahaan tersebut khususnya Departemen Proses dan Pengelolaan Energi dan bagian Laboratorium Uji Kimia mengenai hasil sistem pengukuran analisa *Bulk Density* telah *acceptable* atau tidak. Informasi ini akan memberikan keputusan dalam melakukan tindakan kalibrasi pada alat ukur atau tidak maupun mengganti alat ukur yang lebih otomatis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan percobaan faktorial dengan 2 faktor. Rancangan faktorial dua faktor adalah suatu percobaan yang dirancang dengan dua faktor utama dengan beberapa level faktor. Misalkan faktor A dengan level a, dan faktor B dengan level b. Secara umum percobaan tersebut diulang sebanyak n kali. Struktur dari rancangan percobaan ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Rancangan Faktorial

Faktor Alat	Faktor Operator				y _{i.}
	1	2	...	b	
1	y ₁₁₁ , y ₁₁₂ , ... , y _{11n}	y ₁₂₁ , y ₁₂₂ , ... , y _{12n}	...	y _{1b1} , y _{1b2} , ... , y _{1bn}	y _{1.}
2	y ₂₁₁ , y ₂₁₂ , ... , y _{21n}	y ₂₂₁ , y ₂₂₂ , ... , y _{22n}	...	y _{2b1} , y _{2b2} , ... , y _{2bn}	y _{2.}
⋮	⋮	...	⋮
A	y _{a11} , y _{a12} , ... , y _{a1n}	y _{a21} , y _{a22} , ... , y _{a2n}	...	y _{ab1} , y _{ab2} , ... , y _{abn}	y _{a.}
y _{.j.}	y _{.1.}	y _{.2.}	...	y _{.b.}	y _{...}

Secara umum, pengamatan ke-i dan ke-j pada pengulangan ke-k dapat dinotasikan sebagai y_{ijk}. Rancangan faktorial pada Tabel 2.1 merupakan rancangan acak lengkap dengan faktor operator dan faktor alat sebagai faktor utama. Faktor alat dan operator pada penelitian ini merupakan *fixed factor*. Model matematis untuk rancangan faktorial 2 faktor ini adalah (Montgomery, 2009).

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan (2.1), μ merupakan rata-rata keseluruhan, τ_i merupakan efek faktor tetap alat level ke- i , β_j merupakan efek faktor tetap operator level ke- j , $(\tau\beta)_{ij}$ merupakan efek interaksi kedua faktor tersebut dan *error* dinyatakan ε_{ijk} merupakan efek random yang memiliki asumsi IIDN $(0, \sigma^2)$ dan varians didapatkan oleh $V(\tau_i) = \sigma_\tau^2, V(\beta_j) = \sigma_\beta^2, V[(\tau\beta)_{ij}] = \sigma_{\tau\beta}^2$. Oleh karena itu pengamatan varian secara keseluruhan sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$V(y_{ijk}) = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\tau\beta}^2 + \sigma^2 \quad (2.2)$$

$\sigma_\tau^2, \sigma_\beta^2, \sigma_{\tau\beta}^2, \sigma^2$ merupakan komponen varians. Nilai komponen varians dapat didekati dengan melihat ekspektasi jumlah kuadrat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E(MS_A) &= \sigma^2 + \frac{abn}{(a-1)} \sigma_\tau^2 \\ E(MS_O) &= \sigma^2 + \frac{abn}{(b-1)} \sigma_\beta^2 \\ E(MS_{AO}) &= \sigma^2 + \frac{abn}{(a-1)(b-1)} \sigma_{\tau\beta}^2 \\ E(MS_E) &= \sigma^2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

MS_A merupakan *mean square* atau jumlah kuadrat dari alat. MS_O merupakan *mean square* atau jumlah kuadrat dari operator. MS_{AO} merupakan *mean square* atau jumlah kuadrat dari interaksi kedua faktor. Nilai dari komponen varians sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= MS_E \\ \sigma_\tau^2 &= \frac{(a-1)(E(MS_A) - MS_E)}{abn} \\ \sigma_\beta^2 &= \frac{(b-1)(E(MS_O) - MS_E)}{abn} \\ \sigma_{\tau\beta}^2 &= \frac{(a-1)(b-1)(E(MS_{OA}) - MS_E)}{abn} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Pengujian terhadap model dilakukan untuk mengetahui apakah efek dari operator, faktor produk dan interaksi kedua

faktor tersebut memberikan pengaruh yang signifikan. Pengujian terhadap hasil pengamatan dari rancangan percobaan dilakukan dengan menggunakan tabel *Analysis of Variance* (ANOVA) ditunjukkan pada Tabel 2.2. Hipotesis pengujian ini adalah sebagai berikut.

Hipotesis untuk faktor alat.

H_0 : Tidak ada perbedaan antar alat

H_1 : ada perbedaan antar alat

Hipotesis untuk faktor operator.

H_0 : Tidak ada perbedaan antar operator

H_1 : ada perbedaan antar operator

Hipotesis untuk interaksi kedua faktor.

H_0 : Tidak ada interaksi antar alat dan operator

H_1 : ada interaksi antar alat dan operator

Pengujian ANOVA ini memiliki daerah kritis yaitu menolak H_0 jika nilai *P-value* lebih kecil dari α atau nilai F_{hitung} lebih besar dari F_{tabel} ($F_0 > F_{(\alpha, (a-1), ab(k-1))}$) (Montgomery, 2009).

Tabel 2.2 ANOVA

Sumber variasi	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Rata-rata Kuadrat	F_0
Alat	$a - 1$	$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{y_{i.}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn}$	$MS_O = \frac{SS_O}{a - 1}$	$\frac{MS_O}{MS_\epsilon}$
Operator	$b - 1$	$SS_O = \sum_{j=1}^b \frac{y_{.j}^2}{an} - \frac{y_{...}^2}{abn}$	$MS_A = \frac{SS_A}{b - 1}$	$\frac{MS_A}{MS_\epsilon}$
Interaksi	$(a - 1)(b - 1)$	$SS_{OA} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{y_{ij.}}{n} - \frac{y_{...}^2}{abn} - SS_O - SS_A$	$MS_{OA} = \frac{SS_{OA}}{(a-1)(b-1)}$	$\frac{MS_{op}}{MS_\epsilon}$
Error	$ab(n - 1)$	$SS_\epsilon = SS_T - SS_a - SS_b - SS_{ab}$	$MS_\epsilon = \frac{SS_\epsilon}{ab(n-1)}$	
Total	$abn - 1$	$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$		

2.2 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN ($0, \sigma^2$)

Pemeriksaan asumsi residual IIDN (Identik, Independen, Berdistribusi Normal) merupakan pemeriksaan yang harus

dilakukan apakah residual data yang digunakan memenuhi ketiga asumsi tersebut dalam melakukan pengujian.

2.2.1 Asumsi Residual Identik

Residual bersifat Identik yaitu mempunyai variansi yang homogen (homogenitas varians). Asumsi identik dapat diketahui dengan melihat plot (e_i dengan \bar{Y}_i), jika plot membentuk garis *horizontal band* maka data identik dan jika plot membentuk pola maka data tidak identik. Asumsi identik juga bisa dilakukan dengan uji *Glejser*. Pemeriksaan ini dilakukan dengan cara meregresikan nilai absolut residual terhadap variabel bebas (parameter). Apabila terdapat variabel bebas yang signifikan maka varians residual dapat dikatakan tidak homogen (Gujarati, D. N., & Porter D. C., 2008). Hipotesis dari pengujian ini sebagai berikut :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, k$$

Statistik Uji :

$$F = \frac{MS_{regresi}}{MS_{residual}} \quad (2.5)$$

Daerah Kritis :

Tolak H_0 , jika nilai $F_{hitung} > F_{\alpha (k,n-k-1)}$

2.2.2 Asumsi Residual Independen

Residual bersifat Independen berarti urutan pelaksanaan eksperimen atau urutan data tidak ada hubungannya dengan nilai residual. Asumsi Independen dapat diketahui dengan melihat plot (e_i dengan order), jika plot tidak membentuk pola maka data independen dan jika plot membentuk pola maka data tidak independen. Asumsi independen juga dapat diketahui dengan plot ACF dan uji *Durbin Watson* dengan hipotesis sebagai berikut (Draper & Smith, 1992).

H_0 : Tidak ada korelasi antar residual

H_1 : Ada korelasi antar residual

Statistik Uji :

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (\varepsilon_t - \varepsilon_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n \varepsilon_t^2} \quad (2.6)$$

Daerah Kritis dapat dicari dengan mengambil d_L sebagai batas bawah dan d_U sebagai batas atas dengan taraf signifikan $\alpha/2$. Adapun kriteria pengujian *Durbin Watson* yaitu (Gujarati, D. N., & Porter D. C., 2008).

Tabel 2.3 Kriteria Pengujian *Durbin Watson*

No	H_0	Keputusan	Daerah Pengujian
1	Tidak ada korelasi positif	Tolak H_0	$0 < d < d_L$
		<i>No decision</i>	$d_L \leq d \leq d_U$
2	Tidak ada korelasi negative	Tolak H_0	$4 - d_L < d < 4$
		<i>No decision</i>	$4 - d_U \leq d \leq 4 - d_L$
3	Tidak ada korelasi positif dan negatif	Gagal Tolak H_0	$d_U < d < 4 - d_U$

2.2.3 Asumsi Residual Distribusi Normal

Pemeriksaan asumsi residual berdistribusi normal digunakan untuk mendeteksi kenormalan residual. Asumsi distribusi normal dapat diketahui dengan melihat plot (q-q plot), jika plot mengikuti dan mendekati garis linier maka data berdistribusi normal dan jika plot tidak mengikuti dan menjauhi garis linier maka data tidak berdistribusi normal. Asumsi distribusi normal juga dapat diketahui dengan uji *Shapiro Wilk*, Uji Shapiro wilk dilakukan jika ukuran sampel ≤ 30 (Oztuna, Elhan, & Tuccar, 2006). Uji shapiro wilk atau uji W memiliki distribusi yang bergantung pada ukuran sampel n, sampel dari distribusi normal (Shapiro & Wilk, 1965). Hipotesis dari pengujian ini adalah sebagai berikut :

H_0 : populasi berdistribusi normal

H_1 : populasi tidak berdistribusi normal

$$\text{Statistik Uji : } W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i X_i \right)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.7)$$

Dimana :

a_i = koefisien untuk uji *Shapiro Wilk*

X_i = residual ke i , $i = 1, 2, \dots, n$

Daerah Kritis :

Tolak H_0 , jika $W < W_{(\alpha, n)}$ atau $P_{value} < \alpha$

2.3 MSA

Measurement System Analysis (MSA) merupakan sekumpulan ukuran atau peramalan, prosedur, manusia dan lingkungan yang menjadi faktor penentu utama suatu keadaan menjadi terukur. Ketika proses *Measurement system* diaplikasikan, penyebab variasi yang mengalami ketidaktepatan pengukuran akan lebih mudah teridentifikasi. Metode *Gauge R&R* digunakan untuk memperoleh hasil pengukuran alat atau unit secara berulang dengan operator yang sama serta hasil pengukuran alat atau unit dengan operator yang berbeda-beda (Joglekar, Anand M., 2003). Ada beberapa istilah variasi lokasi dan lebar variasi sebagai berikut (AIAG, 2010).

1. Variasi Lokasi
 - a. Akurasi adalah kedekatan untuk nilai sebenarnya atau referensi nilai diterima.
 - b. Bias merupakan perbedaan antara rata-rata observasi dari pengukuran dan nilai referensi.
 - c. Stabilitas merupakan total variasi suatu pengukuran dengan pengukuran bagian atau sampel yang sama pada sebuah proses pengukuran dalam pengendalian statistika sehubungan dengan lokasi.

- d. Linieritas merupakan korelasi berganda dan independen kesalahan bias selama rentang operasi. Selain itu, komponen kesalahan sistematik dari sistem pengukuran.
2. Lebar Variasi
- a. Presisi merupakan kedekatan antar data satu sama lain. Selain itu, sebuah komponen kesalahan acak dari sistem pengukuran.
 - b. *Repeatability* merupakan variasi dalam pengukuran satu alat ukur yang sama digunakan beberapa kali oleh operator yang sama.
 - c. *Reproducibility* merupakan variasi rata-rata dari pengukuran dilakukan oleh operator yang berbeda menggunakan alat ukur yang sama.

2.3.1 MSA Tipe I

Measurement System Analysis Type I (MSA Tipe I) digunakan untuk melihat kapabilitas suatu sistem pengukuran atau *measurement system* dengan cara mengombinasikan pengaruh bias dan *repeatability* pada pengukuran produk. Pada saat pengukuran tak bias, secara matematis kapabilitas proses sistem pengukuran dapat dinyatakan pada persamaan (2.8).

$$C_g = \frac{h(USL - LSL)}{6S_g} \quad (2.8)$$

Nilai h merupakan *percent tolerance*, USL merupakan batas atas spesifikasi, LSL merupakan batas bawah spesifikasi, dan S_g merupakan standar deviasi. Salah satu besaran lain yang dapat dinyatakan kapabilitas proses adalah C_{gk} merupakan estimasi dari kapabilitas aktual. Bias merupakan selisih antara nilai rata-rata pengukuran (X_m) (Roth, 2012).

$$C_g = \frac{2(h(USL - LSL) - |x_m - x_g|)}{6S_g} \quad (2.9)$$

2.3.2 MSA Tipe II

Gauge R&R adalah perkiraan dari kombinasi *reproducibility* dan *repeatability*. *Variability* dari proses *measurement* dan total varian dapat ditulis sebagai berikut (Joglekar, Anand M., 2003).

$$\begin{aligned}
 \sigma_{repeatability}^2 &= \sigma^2 \\
 \sigma_{reproducibility}^2 &= \sigma_{operator}^2 + \sigma_{interaksi}^2 \\
 \sigma_{gauge}^2 &= \sigma_{repeatability}^2 + \sigma_{reproducibility}^2 \\
 \sigma_{alat}^2 &= \sigma_{\tau}^2 \\
 \sigma_{Total}^2 &= \sigma_{alat}^2 + \sigma_{gauge}^2
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

EV (*equipment variation*) yang sering disebut *repeatability* dan AV (*Appraiser or Inspector Variation*) atau *reproducibility* secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 EV &= k\sqrt{MSE} \\
 AV &= k\sqrt{\frac{MS_O - MS_{OA}}{bn}}
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

Variasi proses (PV) dan *interaction variation* (IV) secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 PV &= k\sqrt{\frac{MS_A - MS_{OA}}{an}} \\
 IV &= k\sqrt{\frac{MS_{OA} - MS_g}{n}}
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

Dimana k adalah konstanta yang diperoleh dari *number trial* dari *inspector*. Statistik uji *gauge R&R* adalah sebagai berikut.

$$GRR = \left[\frac{\sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (IV)^2}}{USL - LSL} \right] \times 100\% \tag{2.13}$$

Kaidah dalam pengambilan kesimpulan dengan melihat persentase *study variance* adalah sebagai berikut.

1. Jika persentase *study variance total gauge R&R* $\leq 10\%$ maka *measurement system acceptable*.

2. Jika persentase *study variance total gauge R&R* $10\% < GRR \leq 30\%$ maka *measurement system acceptable* dengan syarat tertentu.
3. Jika persentase *study variance total gauge R&R* $> 10\%$ maka *measurement system unacceptable* sehingga diperlukan perbaikan.

Apabila kesimpulan diambil dengan menggunakan *percent contribution variation*, maka syarat yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Jika *percent contribution variation gauge R&R* $\leq 1\%$ maka *measurement system acceptable*.
2. Jika *percent contribution variation gauge R&R* $1\% < \%contribution GRR \leq 9\%$ maka *measurement system acceptable* dengan syarat tertentu.
3. Jika *percent contribution variation gauge R&R* $> 9\%$ maka *measurement system unacceptable* sehingga diperlukan perbaikan.

Perhitungan matematis untuk *number of distinct categories* yang digunakan untuk mengetahui *acceptable* atau tidaknya *measurement system* adalah sebagai berikut (AIAG, 2010).

$$ndc = \left[\frac{\hat{\sigma}_{part}}{\hat{\sigma}_{R\&R}} \right] x 1,41 \quad (2.14)$$

Ndc atau *number of distinct categories* merupakan nilai yang menunjukkan rentang varian alat ukur dengan tujuan untuk melihat resolusi dari alat ukur, dimana alat ukur tersebut mampu membedakan perbedaan antar *part*. *Measurement system* dikatakan *acceptable* jika nilai ndc lebih besar dari 3.

2.4 Bulk Density

Bulk density atau kerapatan tanah merupakan perbandingan antara massa atau berat tanah kering dengan total volume dari sampel basah. Sampel kering yang dimaksud adalah sampel yang tidak mengandung fluida (hanya terdiri dari benda padat atau solid), sedangkan sampel basah yang dimaksud adalah sampel

yang mengandung fluida (American Society for Testing and Material (ASTM), 1989). Menurut IK-39-4115 pada perusahaan tersebut, analisis *Bulk Density* ada dua jenis yaitu *Untamp* dan *Tamp*. Berikut ini adalah perhitungan analisis *Bulk Density*.

$$\text{Bulk Density (Untamp)} = \frac{(M_1 - M_0)}{V} \quad (2.15)$$

$$\text{Bulk Density (Tamp)} = \frac{(M_2 - M_1)}{V} \quad (2.16)$$

Keterangan:

M_0 : massa gelas ukur kosong

M_1 : massa gelas ukur yang terisi penuh

M_2 : massa gelas ukur yang terisi penuh dan telah dimampatkan

V : volume gelas ukur yang digunakan.

Alat yang digunakan adalah gelas ukur atau tabung silinder, corong, tiang penyangga, kuas, alat ketukan, timbangan, sekop dan baskom. Cara praktikum yang dilakukan *untamp* dan *tamp* sama yaitu mulai dari menimbang massa dari gelas ukur atau tabung silinder, mencatat volume pada gelas ukur atau tabung silinder, menuangkan bahan baku ke gelas ukur atau tabung silinder secara perlahan sampai penuh, dan menimbang massa bahan baku yang ada dalam tabung silinder kemudian menghitung *Bulk Density* pada persamaan 2.15 dan 2.16. Perbedaannya adalah jika *tamp* dimampatkan hingga tidak ada ruang atau rongga pada gelas ukur yang berisi bahan baku dengan cara diketuk – ketuk. Ilustrasi alat-alat yang digunakan untuk pengukuran *Bulk density* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Alat yang digunakan untuk analisis *Bulk Density*

Proses analisa *Bulk Density* semua bahan baku curah pada perusahaan tersebut hanya dilakukan oleh satu orang analis. Analisis *Bulk Density* pada perusahaan dilakukan ketika perhitungan *stock opname*. Pada penelitian ini proses analisis *Bulk Density* akan dilakukan sesuai rancangan percobaan dimana orang yang melakukan analisis tersebut adalah peneliti dan orang analis tersebut. Setiap orang yang menganalisis *Bulk density* pada penelitian ini akan menggunakan dua jenis ukuran tabung silinder.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data yang digunakan merupakan data primer yaitu berupa pengamatan langsung terhadap analisis *Bulk Density*. Data tersebut diambil dari bagian Laboratorium Uji Kimia pada tanggal 12 April 2016. Data yang diperoleh berupa hasil pengukuran langsung dalam kurun waktu sehari dan setelah proses sampling bahan baku. Analisis *Bulk Density* dilakukan oleh Agus Supriyono merupakan analis di Laboratorium Uji Kimia dan Ira Oktarini Permatasari merupakan peneliti dalam penelitian ini.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel yang mempengaruhi karakteristik kualitas *Bulk density* untuk *Untamp* dan *Tamp* sebagai berikut.

Tabel 3.1 Variabel Pengamatan

Variabel	Satuan
<i>Untamp</i>	Kg/Cm ³
<i>Tamp</i>	Kg/Cm ³

Variabel pengamatan yang digunakan untuk bahan baku belerang terdapat 2 operator yang melakukan pengukuran dengan menggunakan 2 alat tabung silinder dengan ukuran volume sebagai berikut.

Tabel 3.2 Ukuran Alat

Alat	Volume
TS BM A	2371,1 mL
TS BM B	5,16 L

Struktur rancangan faktorial pada pengukuran *Bulk Density* dilakukan 2 operator dengan pengulangan sebanyak 2 kali pada masing-masing alat tabung silinder. Berikut ini adalah struktur rancangan faktorial untuk variabel *untamp*. Struktur rancangan faktorial untuk *tamp* sama dengan *untamp*.

Tabel 3.3 Rancangan Percobaan

Faktor Alat	Faktor Operator		Y _{i..}
	1	2	
1	Y ₁₁₁	Y ₁₂₁	Y _{1..}
	Y ₁₁₂	Y ₁₂₂	
2	Y ₂₁₁	Y ₂₂₁	Y _{2..}
	Y ₂₁₂	Y ₂₂₂	
Y _{.j.}	Y _{.1.}	Y _{.2.}	Y _{...}

3.3 Langkah Analisis

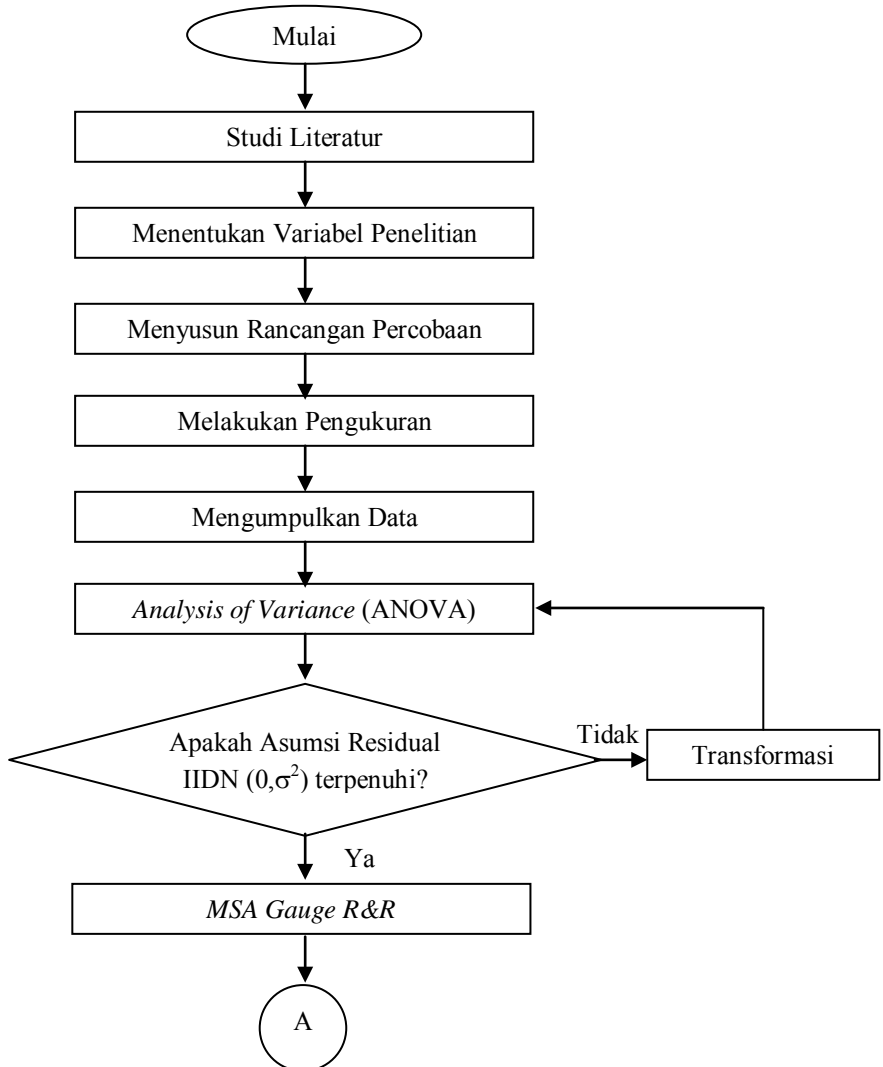
Langkah analisis yang dilakukan peneliti ini adalah menganalisis *Measurement system* pada proses analisis *Bulk Density Untamp* dan *Tamp* sebagai berikut.

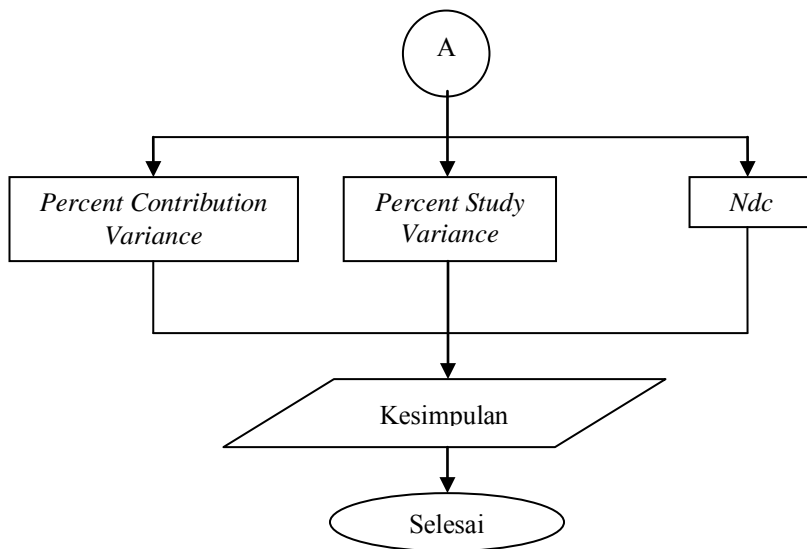
1. Merumuskan masalah yang terjadi di departemen Proses dan Pengelolaan Energi. Pada tahap ini dilakukan diskusi mengenai permasalahan yang akan diamati.
2. Setelah merumuskan masalah kemudian menentukan variabel yang akan diamati.
3. Menyusun rancangan percobaan dengan menggunakan rancangan faktorial.
4. Melakukan pengukuran berdasarkan rancangan percobaan.
5. Mengumpulkan data secara langsung dengan alat ukur yang sudah ditentukan untuk variabel pengamatan.
6. Melakukan uji *ANOVA* untuk mendapatkan faktor – faktor apa saja yang berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran.
7. Melakukan pemeriksaan asumsi residual IIDN terhadap residual data hasil uji *ANOVA*.
8. Jika asumsi residual IIDN ada yang tidak terpenuhi maka dilakukan transformasi kemudian diuji *ANOVA* kembali.
9. Melakukan *Measurement System Analysis Gauge R&R* untuk mengetahui sistem pengukuran tersebut sudah *acceptable* atau belum.

- Menarik kesimpulan yang nantinya diharapkan ada saran agar selalu ada perbaikan.

3.4 Diagram alir

Diagram alir ini merupakan gambar dari langkah – langkah analisis yang telah diuraikan sebelumnya sebagai berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir

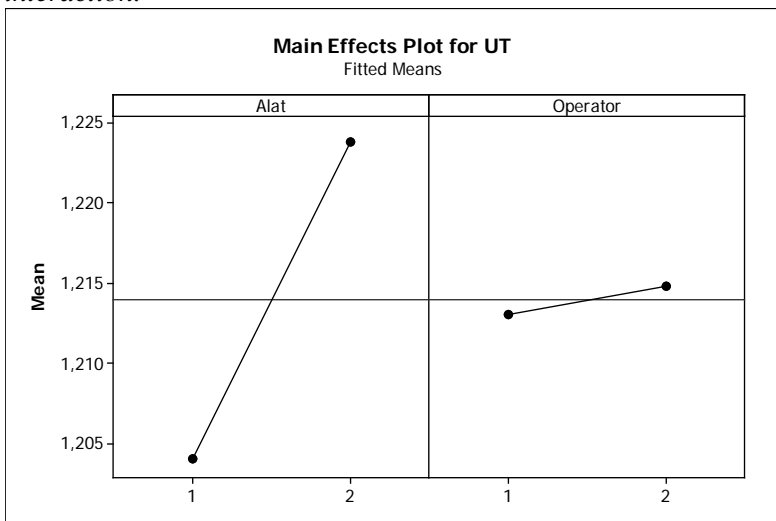
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan rancangan faktorial dua faktor utama yaitu operator dan faktor alat. Rancangan faktorial dua faktor dilakukan pada dua variabel pengamatan yaitu variabel *Bulk Density Untamp* dan *Bulk Density Tamp*. Pengujian terhadap hasil pengamatan rancangan percobaan faktorial ini menggunakan tabel *Analysis of Variance* (ANOVA).

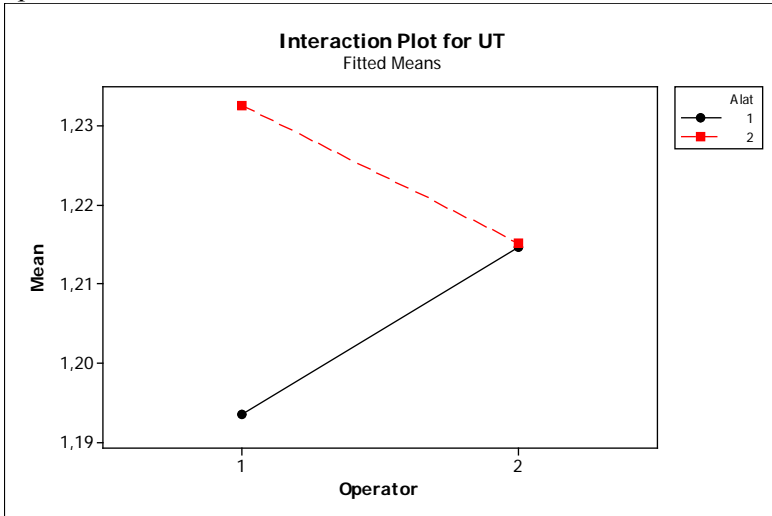
4.1.1 *Bulk Density Untamp*

Hasil pengukuran *Bulk Density Untamp* dengan rancangan percobaan faktorial dua faktor dapat dilihat secara visual dengan grafik *main effect* dan *interaction*. Analisis secara visual digunakan untuk mengetahui pengaruh dan interkasi hasil pengukuran *Bulk Density* terhadap operator dan alat ukur yang berbeda. Berikut ini hasil pengamatan dari *main effect* dan *interaction*.



Gambar 4.1 Grafik *Main Effect* BD Untamp

Gambar 4.1 menjelaskan bahwa grafik *main effect* operator 1 dan 2 mempunyai kemampuan yang sama karena mendekati rata-rata nilai hasil pengukuran tetapi operator 1 memberikan hasil pengukuran lebih sedikit daripada operator 2. *Main effect* alat 1 (tabung silinder ukuran volume 2371,1 mL) memberikan nilai hasil pengukuran lebih sedikit dibanding alat 2 (tabung silinder ukuran volume 5,16 L) karena ukuran volume pada alat 1 lebih kecil daripada alat 2. Berikut interaksi hasil pengukuran antara operator dan alat.



Gambar 4.2 Grafik *Interaction* BD *Untamp*

Gambar 4.2 menjelaskan bahwa kedua faktor tidak memberikan interaksi pada hasil pengukuran *Bulk Density Untamp*. Selain itu dapat diketahui bahwa hasil pengukuran *Bulk Density Untamp* operator 1 dengan menggunakan alat ukur 1 (tabung silinder ukuran volume 2371,1 mL) lebih sedikit daripada hasil pengukuran oleh operator 2 dengan alat ukur 2 (tabung silinder ukuran volume 5,16 L).

Rancangan faktorial dua faktor ini didapatkan model sebagai berikut.

$$\hat{y}_{ijk} = 1,21396 - 0,00091\tau - 0,00988\beta - 0,00963(\tau\beta)$$

Persamaan model tersebut menjelaskan bahwa pengukuran *Bulk Density Untamp* akan berkurang secara rata-rata sebesar 0,00988 kg/cm³ untuk setiap penambahan 1 orang operator dengan syarat faktor lain konstan.

Model tersebut kemudian diuji untuk mengetahui efek dari operator, alat dan interaksi kedua faktor tersebut memberikan pengaruh signifikan. Hipotesis pengujian sebagai berikut.

Hipotesis untuk faktor alat.

H₀: Tidak ada perbedaan antar alat

H₁: ada perbedaan antar alat

Hipotesis untuk faktor operator.

H₀: Tidak ada perbedaan antar operator

H₁: ada perbedaan antar operator

Hipotesis untuk interaksi kedua faktor.

H₀: Tidak ada interaksi antar operator dan alat

H₁: ada interaksi antar operator dan alat

Taraf signifikan (α) : 5%

Daerah kritis : menolak H₀ jika nilai $F_0 > F_{(\alpha, (a-1), ab(k-1))}$ atau nilai $P\text{-value} < \alpha$

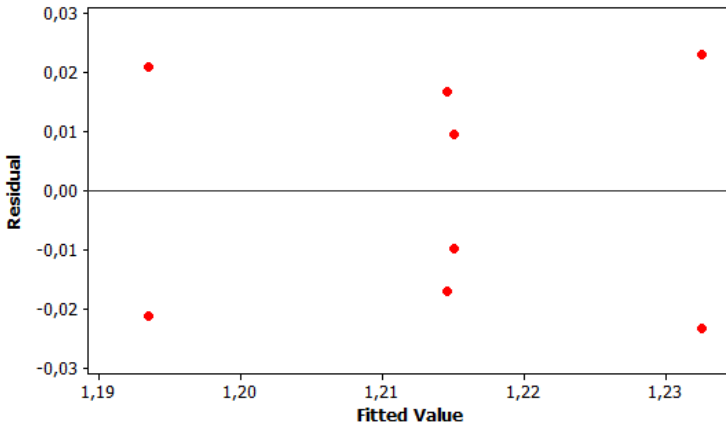
Statistik uji :

Tabel 4.1 Tabel ANOVA BD *Untamp*

Source	DF	SS	MS	F	P-value
operator	1	0,0000066	0,0000066	0,01	0,926
Alat	1	0,0007805	0,0007805	1,14	0,345
interaction	1	0,0007422	0,0007422	1,09	0,356
Error	4	0,0027280	0,0006820		
Total	7	0,0042574			

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa faktor operator, alat dan interaksi kedua faktor tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran *bulk density untamp* dapat dilihat dari nilai F pada faktor operator, alat dan interaksinya lebih kecil dari F_{tabel} sebesar 7,71 serta $P\text{-value}$ lebih besar dari α memberikan keputusan H₀ gagal ditolak Artinya operator dari analisis laboratorium Uji Kimia maupun peneliti mempunyai kemampuan

dan kinerja yang sama, alat dengan ukuran yang berbeda-beda mempunyai fungsi yang sama dan hasil pengukuran yang sama, serta interaksi kedua faktor tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap hasil pengukuran. Setelah hasil ANOVA didapatkan perlu adanya pemeriksaan asumsi residual IIDN (Identik, Independen dan Distribusi Normal). Asumsi residual pertama adalah asumsi residual identik dapat dilihat secara visual dan dilakukan uji *Glejser*. Pemeriksaan asumsi identik adalah sebagai berikut.



Gambar 4.3 Asumsi Residual Identik BD *Untamp*

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa plot-plot menyebar dan tidak membentuk pola. Jadi dapat disimpulkan residual data memenuhi asumsi residual identik. Secara visual dapat diketahui memenuhi asumsi kemudian dilakukan uji *glejser* yaitu dengan meregresikan nilai absolut residual sebagai variabel respon terhadap nilai fits dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

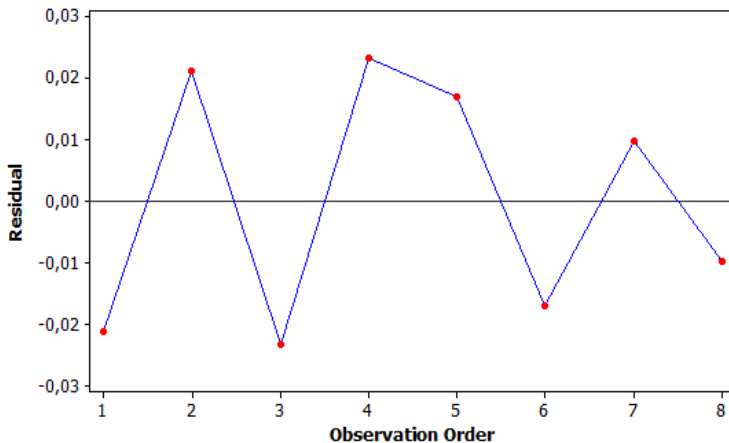
$$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, k$$

Taraf signifikan (α) : 5%

Daerah kritis : menolak H_0 jika $F_{\text{hitung}} > F_{(\alpha, (k, (n-k-1))}$ atau $P\text{-value} < \alpha$

Statistik Uji :

Hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 3 memberikan keputusan H_0 gagal ditolak karena F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} sebesar 5,99 dan $P-value > \alpha$. Artinya asumsi residual identik telah terpenuhi. Kemudian pemeriksaan asumsi residual independen dapat dilihat secara visual dan dilakukan uji *Durbin Watson*. Pemeriksaan asumsi residual independen adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4 Asumsi Residual Independen BD *Untamp*

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa plot-plot menyebar secara acak dan tidak membentuk pola. Jadi dapat disimpulkan residual data memenuhi asumsi residual identik. Secara visual dapat diketahui telah memenuhi asumsi kemudian dilakukan uji *durbin watson* adalah sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada korelasi antar residual

H_1 : Ada korelasi antar residual

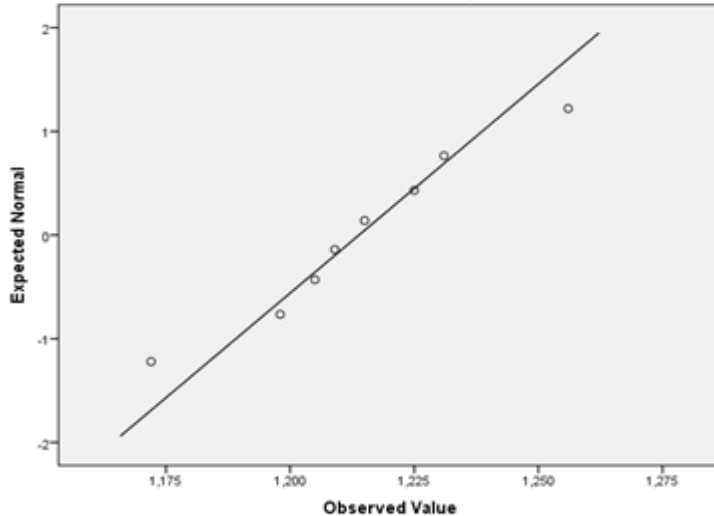
Taraf signifikan (α) : 5%

Daerah kritis : menolak H_0 jika $(4-d) > du$

Statistik Uji :

Hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 10 memberikan keputusan H_0 gagal ditolak dilihat pada nilai $4-d$ lebih kecil dari du sebesar 2,2866 sehingga dapat disimpulkan

bahwa residual data memenuhi asumsi residual independen. Kemudian pemeriksaan asumsi residual distribusi normal dapat dilihat secara visual dengan Q-Q plot dan dilakukan uji *Shapiro Wilk*. Pemeriksaan asumsi residual distribusi normal adalah sebagai berikut.



Gambar 4.5 Asumsi Residual Distribusi Normal BD *Untamp*

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa plot-plot mendekati garis lurus. Jadi dapat disimpulkan residual data memenuhi asumsi residual distribusi normal. Secara visual dapat diketahui telah memenuhi asumsi kemudian dilakukan uji *shapiro wilk* adalah sebagai berikut.

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Taraf signifikan (α) : 5%

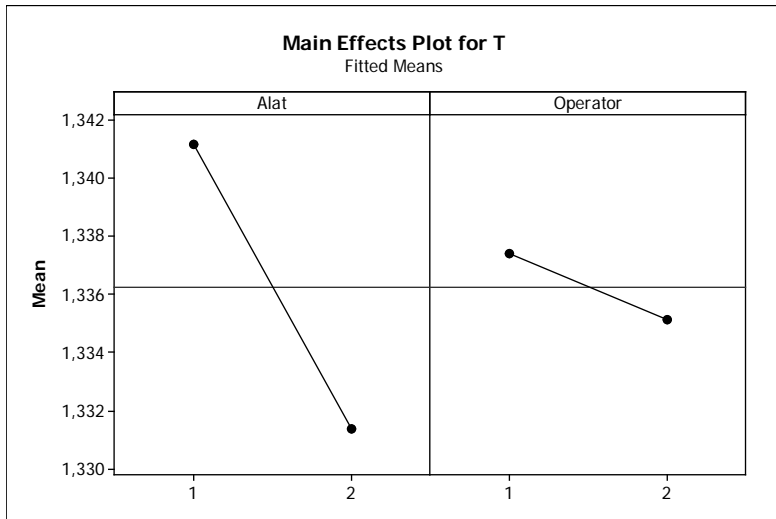
Daerah kritis : menolak H_0 jika $|W| < W_{(\alpha,n)}$ atau $P\text{-value} < \alpha$

Statistik Uji :

Hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 9 memberikan keputusan H_0 gagal ditolak dilihat pada nilai W lebih besar dari W_{tabel} sebesar 0,818 dan $P\text{-value} > \alpha$ Artinya residual data telah berdistribusi normal.

4.1.2 Bulk Density Tamp

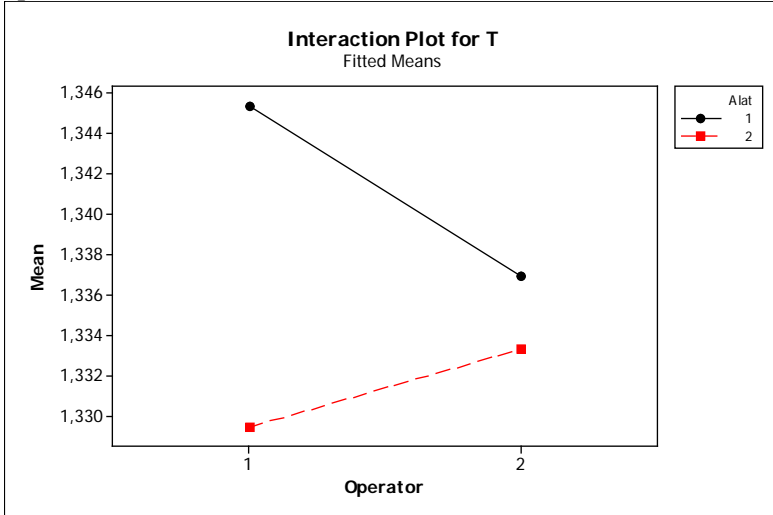
Hasil pengukuran *bulk density untamp* dengan rancangan percobaan faktorial dua faktor dapat dilihat secara visual dengan grafik *main effect* dan *interaction*. Analisis secara visual digunakan untuk mengetahui pengaruh dan interkasi hasil pengukuran *bulk density* terhadap operator dan alat ukur yang berbeda. Berikut ini hasil pengamatan dari *main effect* dan *interaction*.



Gambar 4.6 Grafik *Main Effect* BD Tamp

Gambar 4.6 menjelaskan bahwa grafik *main effect* operator 1 dan 2 mempunyai kemampuan yang sama karena mendekati rata-rata nilai hasil pengukuran tetapi operator 2 memberikan nilai hasil pengukuran lebih sedikit daripada operator 1. *Main effect* alat 2 (tabung silinder ukuran volume 5,16 mL) memberikan nilai hasil pengukuran lebih sedikit dibanding alat 1 (tabung silinder

ukuran volume 2371,1 mL) karena ukuran volume pada alat 2 lebih besar daripada level 1 sehingga kemungkinan masih ada rongga pada alat 2. Berikut interaksi hasil pengukuran antara operator dan alat.



Gambar 4.7 Grafik *Interaction* BD *Tamp*

Gambar 4.7 menjelaskan bahwa kedua faktor tidak memberikan interaksi pada hasil pengukuran *bulk density tamp*. Selain itu dapat diketahui bahwa hasil pengukuran *bulk density tamp* operator 1 dengan menggunakan alat ukur 2 (tabung silinder ukuran volume 5,16 L) lebih sedikit daripada hasil pengukuran oleh operator 2 dengan alat ukur 1 (tabung silinder ukuran volume 2371,1 L).

Rancangan faktorial dua faktor ini didapatkan model sebagai berikut.

$$\hat{y}_{ijk} = 1,33627 - 0,00488\tau - 0,00114\beta - 0,00308(\tau\beta)$$

Persamaan model tersebut menjelaskan bahwa pengukuran *bulk density tamp* akan berkurang secara rata-rata sebesar 0,00488 kg/cm³ untuk setiap penambahan 1 orang operator dengan syarat faktor lain konstan.

Model tersebut kemudian diuji untuk mengetahui efek dari operator, alat dan interaksi kedua faktor tersebut memberikan pengaruh signifikan. Hipotesis pengujian sebagai berikut.

Hipotesis untuk faktor operator.

H_0 : Tidak ada perbedaan antar operator

H_1 : ada perbedaan antar operator

Hipotesis untuk faktor alat.

H_0 : Tidak ada perbedaan antar alat

H_1 : ada perbedaan antar alat

Hipotesis untuk interaksi kedua faktor.

H_0 : Tidak ada interaksi antar operator dan alat

H_1 : ada interaksi antar operator dan alat

Taraf signifikan (α) : 5%

Daerah kritis : menolak H_0 jika nilai $F_0 > F_{(\alpha, (a-1), ab(k-1))}$ atau nilai $P\text{-value} < \alpha$

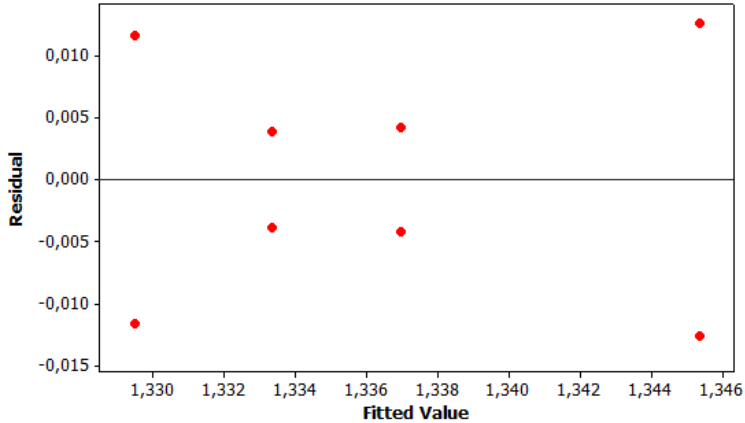
Statistik uji :

Tabel 4.2 Tabel ANOVA BD *Tamp*

Source	DF	SS	MS	F	P-value
operator	1	0,0000104	0,0000104	0,06	0,814
alat	1	0,0001903	0,0001903	1,16	0,342
interaction	1	0,0000758	0,0000758	0,46	0,534
error	4	0,0006562	0,0001641		
total	7	0,0009327			

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa faktor operator, alat dan interaksi kedua faktor tersebut tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran *bulk density tamp* dapat dilihat dari nilai F pada faktor operator, alat dan interaksinya lebih kecil dari F_{tabel} sebesar 7,71 serta P-value lebih besar dari α memberikan keputusan H_0 gagal ditolak. Artinya operator dari analisis laboratorium Uji Kimia maupun peneliti mempunyai kemampuan dan kinerja yang sama, alat dengan ukuran yang berbeda-beda mempunyai fungsi yang sama dan hasil pengukuran yang sama, serta interaksi kedua faktor tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap hasil pengukuran. Setelah hasil ANOVA didapatkan perlu adanya pemeriksaan asumsi residual IIDN (Identik,

Independen dan Distribusi Normal). Asumsi residual pertama adalah asumsi residual identik dapat dilihat secara visual dan dilakukan uji *Glejser*. Pemeriksaan asumsi identik adalah sebagai berikut.



Gambar 4.8 Asumsi Residual Identik BD *Tamp*

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa plot-plot menyebar dan tidak membentuk pola. Jadi dapat disimpulkan residual data memenuhi asumsi residual identik. Secara visual dapat diketahui memenuhi asumsi kemudian dilakukan uji *glejser* yaitu dengan meregresikan nilai absolut residual sebagai variabel respon terhadap nilai fits dengan hipotesis sebagai berikut.

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$$

$$H_1 : \text{minimal terdapat satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2, i = 1, 2, \dots, k$$

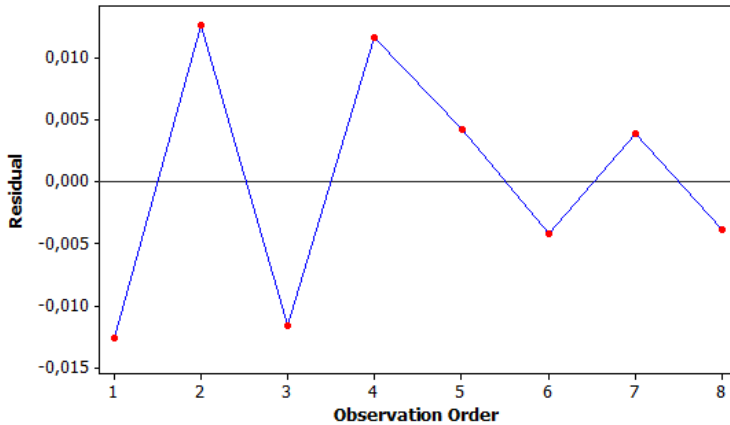
Taraf signifikan (α) : 5%

Daerah kritis : menolak H_0 jika $F_{hitung} > F_{(\alpha, (k, (n-k-1))}$ atau $P\text{-value} < \alpha$

Statistik Uji :

Hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 7 memberikan keputusan H_0 gagal ditolak dilihat pada nilai F_{hitung} lebih kecil dari F_{tabel} sebesar 5,99 dan $P\text{-value} > \alpha$. Artinya asumsi residual identik telah terpenuhi. Kemudian pemeriksaan asumsi residual independen dapat dilihat secara visual dan dilakukan uji *Durbin*

Watson. Pemeriksaan asumsi residual independen adalah sebagai berikut.



Gambar 4.9 Asumsi Residual Independen

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa plot-plot menyebar secara acak dan tidak membentuk pola. Jadi dapat disimpulkan residual data memenuhi asumsi residual independen. Secara visual dapat diketahui telah memenuhi asumsi kemudian dilakukan uji *durbin watson* adalah sebagai berikut.

H_0 : Tidak ada korelasi antar residual

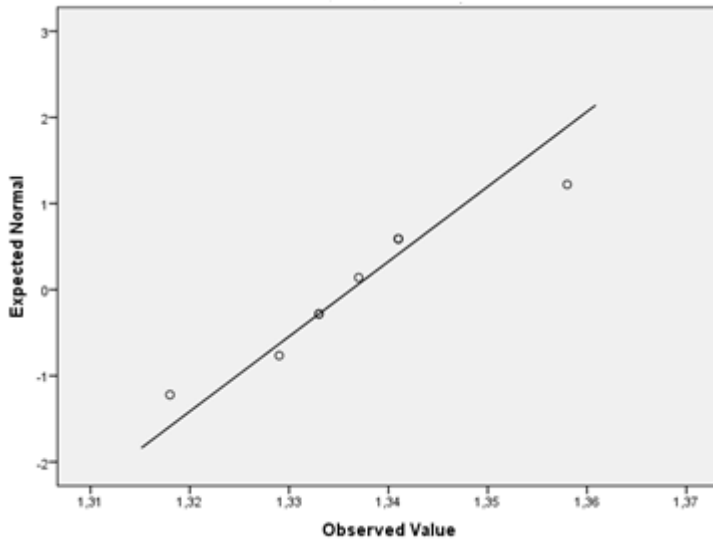
H_1 : Ada korelasi antar residual

Taraf signifikan (α) : 5%

Daerah kritis : menolak H_0 jika $(4-d) > du$

Statistik Uji :

Hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 11 memberikan keputusan H_0 gagal ditolak dilihat pada nilai $4-d$ lebih kecil dari du sebesar 2,2866 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual data memenuhi asumsi residual independen. Kemudian pemeriksaan asumsi residual distribusi normal dapat dilihat secara visual dengan Q-Q plot dan dilakukan uji *Shapiro Wilk*. Pemeriksaan asumsi residual distribusi normal adalah sebagai berikut.



Gambar 4.10 Asumsi Residual Distribusi Normal BD *Tamp*

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa plot-plot banyak yang menjauhi garis lurus. Jadi dapat disimpulkan residual data tidak memenuhi asumsi residual distribusi normal. Secara visual dapat diketahui tidak memenuhi asumsi kemudian dilakukan uji *kolmogorof smirnov* adalah sebagai berikut.

H_0 : residual berdistribusi normal

H_1 : residual tidak berdistribusi normal

Taraf signifikan (α) : 5%

Daerah kritis : menolak H_0 jika $|W| < W_{(\alpha,n)}$ atau $P\text{-value} < \alpha$

Statistik Uji :

Hasil pengujian dapat dilihat pada Lampiran 9 memberikan keputusan H_0 gagal ditolak dilihat pada nilai W lebih besar dari W_{tabel} sebesar 0,818 dan $P\text{-value} > \alpha$ artinya residual data telah berdistribusi normal.

4.2 MSA

Measurement System Analysis merupakan metode yang digunakan untuk memvalidasi sistem pengukuran. Selain itu dapat mengetahui sistem pengukuran tersebut mampu mengukur dengan akurasi dan presisi. Tidak hanya alat ukur yang diukur tetapi operator dan sistem pengukuran juga diukur. MSA pada analisis ini hanya menggunakan metode *Gauge R&R* dikarenakan memiliki batas spesifikasi yang berbeda-beda pada setiap alat ukur.

4.2.1 Hasil Pengukuran *Bulk Density Untamp*

Pada pengukuran *Bulk Density Untamp* dilakukan pengambilan data dari 2 operator yang melakukan pengukuran terhadap 2 alat dengan pengulangan sebanyak 2 kali. Bahan baku yang diukur sama, sehingga didapatkan hasil MSA *Gauge R&R* dengan metode ANOVA dapat dilihat sebelumnya pada Tabel 4.1. Hasil evaluasi MSA *Gauge R&R* dengan menggunakan metode ANOVA disajikan pada Tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.3 Hasil Analisis MSA *Gauge R&R* pada Variabel *Untamp*

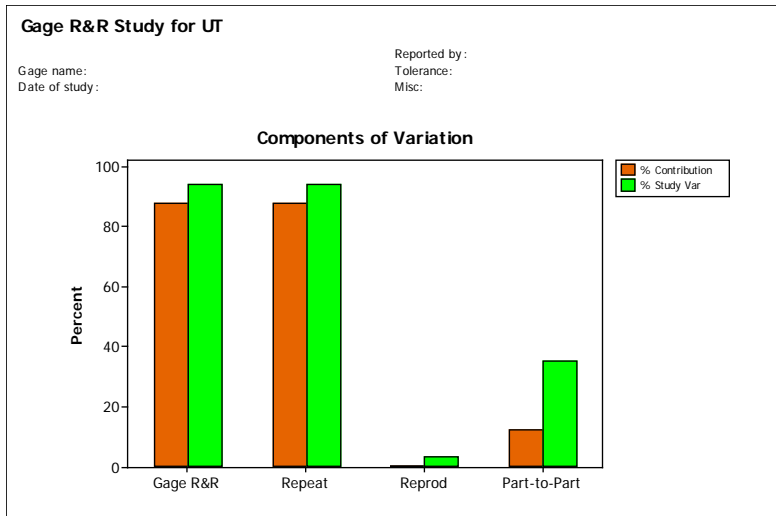
Source	Komponen Varians (σ^2)	% Contribution	% Study Varians
Total Gauge R&R	0,0006949	87,69	93,64
Repeatability	0,0006949	87,58	93,59
Reproducibility	0,0000008	0,10	3,24
Operator	0,0000008	0,10	3,24
Part--to-Part	0,0000976	12,31	35,09
Total Variation	0,0007924	100,00	100,00
Ndc = 1			

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa varians terbesar pada *repeatability* atau varians error sebesar 0,0006949, dan varians terkecil pada *reproducibility* merupakan faktor operator sebesar 0,0000008 serta varians dari *part to part* atau varians antar alat sebesar 0,0000976 sehingga varians total dari seluruh komponen sebesar 0,0007924. Selain itu nilai *percent contribution* merupakan kontribusi dari komponen varians setiap faktor dibagi

varians total dikali 100% untuk total *gauge R&R* sebesar 87,69%, nilai *repeatability* sebesar 87,58%, *part to part* sebesar 12,31% serta *reproducibility* dan operator masing-masing 0,10%. Persen kontribusi terbesar terdapat pada total *gauge R&R* sebesar 87,69% lebih dari 1% varian terbesar diwakili oleh *repeatability* atau *error* artinya variasi terbesar terjadi dalam pengukuran satu alat ukur yang sama dengan pengulangan sebanyak 2 kali oleh operator yang sama. Selain itu pada hasil ANOVA menunjukkan faktor operator, alat dan interaksi kedua faktor tersebut tidak memberikan pengaruh. Kondisi ini dapat disimpulkan bahwa *measurement system* tidak *acceptable*.

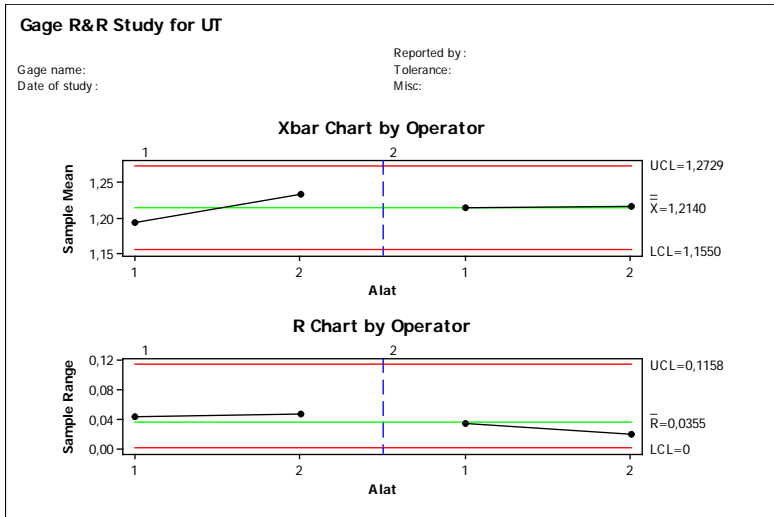
Jika dilihat dari *percent study variance* merupakan perbandingan variasi pengukuran terhadap total variasi proses yang digunakan untuk mengetahui ukuran seberapa baik suatu sistem pengukuran. Nilai *percent study variance* merupakan nilai 6 standart deviasi dari Tabel 4.9 didapatkan untuk total *gauge R&R* sebesar 93,64% menurut kriteria AIAG nilai tersebut lebih besar dari 10% maka *measurement system* tidak *acceptable*. Selain itu *percent study variance* untuk *repeatability* sebesar 93,59% menunjukkan bahwa kesalahan atau *error* dalam proses pengukuran *Bulk Density* lebih besar dari 10%.

Jika dilihat dari number of distinct categories atau *ndc* menunjukkan rentang varian dari rasio perbandingan varian alat dengan varian *gauge R&R* dan varian proses sebesar 1. Nilai tersebut lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa sistem pengukuran pada variabel *Untamp* mempunyai resolusi rendah dalam membedakan antar alat sehingga dapat dikatakan sistem pengukuran belum dapat diterima. Hal ini dapat terjadi dikarenakan ada faktor lain yang memberikan pengaruh pada analisis *bulk density* diantaranya adalah salah satu operator bukan analis sesungguhnya dan salah satu alat ukur tidak digunakan pada analisis *bulk density* bahan baku belerang serta batas spesifikasi yang berbeda-beda. Pada Gambar 4.7 menunjukkan histogram komponen varian pada total *gauge R&R*, *repeatability*, *reproducibility* dan *part to part*.



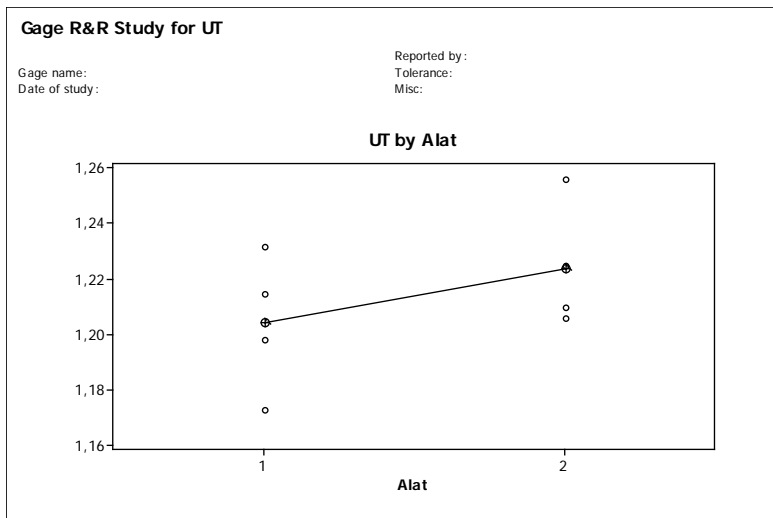
Gambar 4.11 Histogram Komponen Varian Variabel *Untamp*

Gambar 4.11 menunjukkan histogram dari komponen varian variabel *untamp* dapat dilihat bahwa komponen varian dari *gauge R&R* berada diatas 10% mendekati 100%. Hal tersebut dapat dibuktikan dari varian *repeatability* berada diatas 10% sedangkan *reproducibility* berada dibawah 10%. Komponen varian *part to part* atau komponen varian dari alat sebesar 12,31%. Artinya ada faktor lain yang memberikan pengaruh pada proses pengukuran *bulk density untamp*. Selain itu faktor alat juga sedikit memberikan pengaruh pada pengukuran pada pengukuran tetapi tidak begitu besar. Menurut kriteria AIAG, *study variance* total *gauge R&R* lebih dari 10% maka *measurement system* atau sistem pengukuran *bulk density* variabel *untamp* belum dapat diterima. Nilai total varian *gauge R&R* berada diatas 10% dapat disimpulkan bahwa sistem pengukuran belum *acceptable* atau belum dapat diterima. Kemudian Gambar 4.8 merupakan peta kendali $\bar{X} - R$ untuk mengendalikan hasil pengukuran *bulk density* variabel *untamp*.



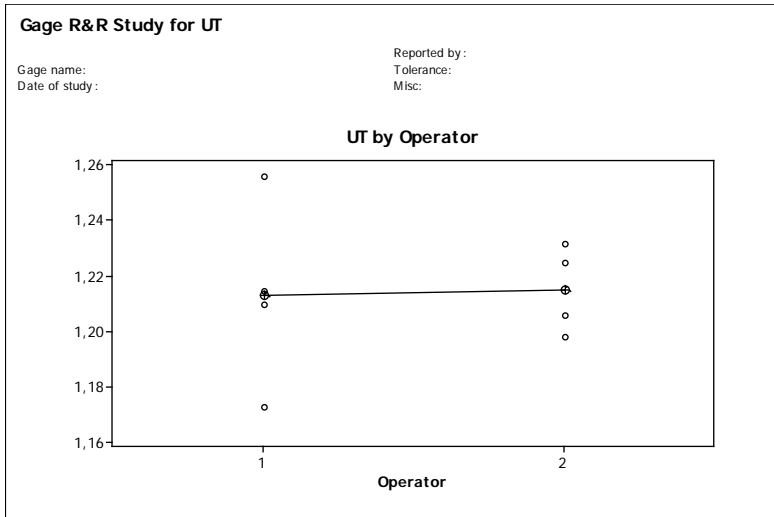
Gambar 4.12 Peta Kendali $\bar{X} - R$ pada Variabel *Untamp*

Gambar 4.12 menggambarkan peta kendali $\bar{X} - R$ dari variabel *untamp* menunjukkan hasil pengukuran alat 1 dan 2 masih terkendali pada peta kendali R. Hal ini dapat diketahui variasi pengukuran hampir mendekati rata-rata R dan masih dalam batas kendali. Hal ini dapat diketahui variasi pengukuran hampir mendekati rata-rata R dan masih dalam batas kendali. Pada peta kendali \bar{X} semua pengukuran terkendali. Pada Gambar 4.13 merupakan grafik *measurement part to part* atau alat. Gambar tersebut menunjukkan variasi pengukuran pada setiap alat dengan pengulangan sebanyak 2 kali.



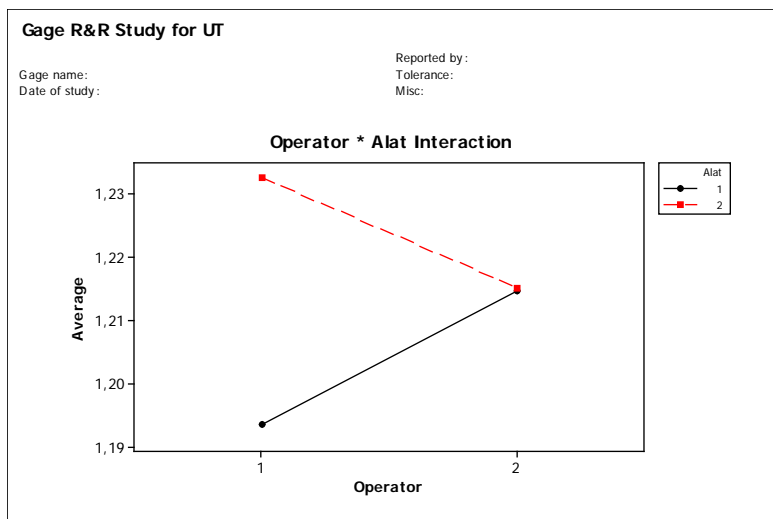
Gambar 4.13 Grafik Measurement Alat Variabel *Untamp*

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa rata-rata pengukuran pada setiap alat dengan pengulangan sebanyak 2 kali. Hasil pengukuran yang digambarkan dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa hasil pengukuran pada alat 2 dengan kedua operator mempunyai hasil pengukuran diatas rata-rata. Pada gambar 4.14 merupakan grafik *measurement by operator* menunjukkan pengukuran rata-rata hasil pengukuran kedua operator. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa garis yang menghubungkan antar operator merupakan hasil pengukuran operator 1 dan 2. Hasil pengukuran operator 1 dan 2 memberikan hasil yang hampir sama. Kemudian Gambar 4.15 menggambarkan measurement interaksi antara alat dan operator.



Gambar 4.14 Grafik Measurement Operator Variabel *Untamp*

Pada Gambar 4.15 menunjukkan hasil pengukuran *measurement* interaksi antara faktor alat dan operator tidak memberikan interaksi. Selain itu dapat dilihat hasil pengukuran operator 1 dan 2 dengan masing-masing alat sedikit jauh berbeda. Hal tersebut dikarenakan salah satu operator adalah peneliti dan bukan analis sesungguhnya. Salah satu operator tersebut juga belum terlatih dan belum terbiasa seperti analis sesungguhnya dalam pengukuran *bulk density*.



Gambar 4.15 Grafik Measurement Interaksi Variabel *Untamp*

4.2.2 Hasil Pengukuran *BD Tamp*

Pada pengukuran *Bulk Density Tamp* dilakukan pengambilan data dari 2 operator yang melakukan pengukuran terhadap 2 alat dengan pengulangan sebanyak 2 kali. Bahan baku yang diukur sama, sehingga didapatkan hasil MSA *Gauge R&R* dengan metode ANOVA dapat dilihat sebelumnya pada Tabel 4.2. Hasil evaluasi MSA *Gauge R&R* dengan menggunakan metode ANOVA disajikan pada Tabel 4.10 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hasil Analisis MSA *Gauge R&R* pada Variabel *Tamp*

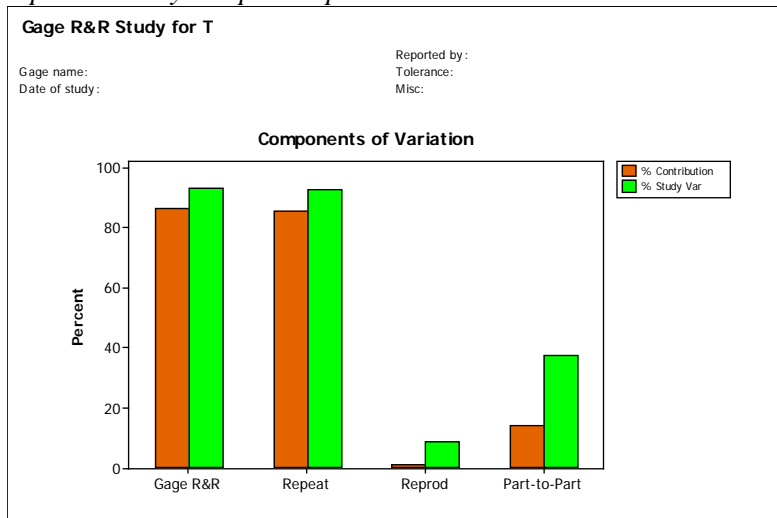
Source	Komponen Varians (σ^2)	% Contribution	% Study Variance
Total Gauge R&R	0,0001477	86,13	92,81
Repeatability	0,0001464	85,37	92,40
Reproducibility	0,0000013	0,76	8,70
Operator	0,0000013	0,76	8,70
Part--to-Part	0,0000238	13,87	37,24
Total Variation	0,0001715	100,00	100,00
Ndc = 1			

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa varians terbesar pada *repeatability* atau varians error sebesar 0,0001464, dan varians terkecil pada *reproducibility* merupakan faktor operator sebesar 0,0000013 serta varians dari *part to part* atau varians antar alat sebesar 0,0000238 sehingga varians total dari seluruh komponen sebesar 0,0001715. Selain itu nilai *percent contribution* merupakan kontribusi dari komponen varians setiap faktor dibagi varians total dikali 100% untuk total gauge R&R sebesar 86,13%, nilai *repeatability* sebesar 85,37%, *part to part* sebesar 13,87% serta *reproducibility* dan operator masing-masing 0,76%. Persen kontribusi terbesar terdapat pada total gauge R&R sebesar 86,13% lebih dari 1% varian terbesar diwakili oleh *repeatability* atau *error* artinya variasi terbesar terjadi dalam pengukuran satu alat ukur yang sama dengan pengulangan sebanyak 2 kali oleh operator yang sama. Selain itu pada hasil ANOVA menunjukkan faktor operator, alat dan interaksi kedua faktor tersebut tidak memberikan pengaruh. Kondisi ini dapat disimpulkan bahwa *measurement system* tidak *acceptable*.

Jika dilihat dari *percent study variance* merupakan perbandingan variasi pengukuran terhadap total variasi proses yang digunakan untuk mengetahui ukuran seberapa baik suatu sistem pengukuran. Nilai *percent study variance* dari Tabel 4.4 didapatkan untuk total *gauge R&R* sebesar 92,81% menurut kriteria AIAG nilai tersebut lebih besar dari 10% maka *measurement system* tidak *acceptable*. Selain itu *percent study variance* untuk *repeatability* sebesar 92,40% menunjukkan bahwa kesalahan atau *error* dalam proses pengukuran *Bulk Density* lebih besar dari 10%.

Jika dilihat dari *number of distinct categories* atau *ndc* menunjukkan rentang varian dari rasio perbandingan varian alat dengan varian *gauge R&R* dan varian proses sebesar 1. Nilai tersebut lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa sistem pengukuran pada variabel *Untamp* mempunyai resolusi rendah dalam membedakan antar alat sehingga dapat dikatakan sistem pengukuran belum dapat diterima. Hal ini dapat terjadi

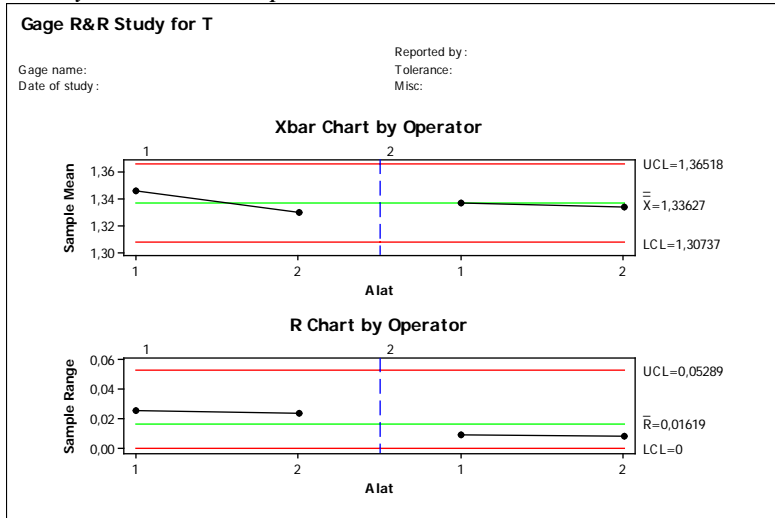
dikarenakan ada faktor lain yang memberikan pengaruh pada analisis *bulk density* diantaranya adalah salah satu operator bukan analis sesungguhnya dan salah satu alat ukur tidak digunakan pada analisis *bulk density* bahan baku belerang serta batas spesifikasi yang berbeda-beda. Pada Gambar 4.12 menunjukkan histogram komponen varian pada total *gauge R&R*, *repeatability*, *reproducibility* dan *part to part*.



Gambar 4.16 Histogram Komponen Varian Variabel *Tamp*

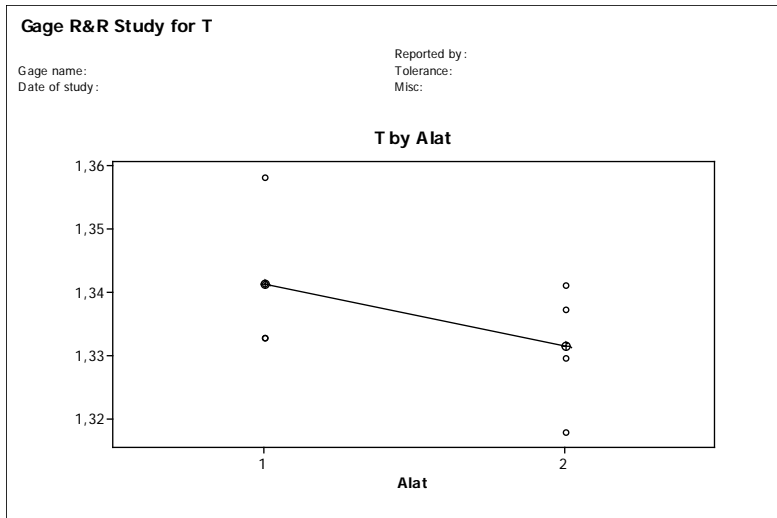
Gambar 4.16 menunjukkan histogram dari komponen varian variabel *tamp* dapat dilihat bahwa komponen varian dari *gauge R&R* berada diatas 10% mendekati 100%. Hal tersebut dapat dibuktikan dari varian *repeatability* berada diatas 10% sedangkan *reproducibility* berada dibawah 10%. Komponen varian *part to part* atau komponen varian dari alat sebesar 13,87%. Artinya ada faktor lain yang memberikan pengaruh pada proses pengukuran *bulk density untamp*. Selain itu faktor alat juga sedikit memberikan pengaruh pada pengukuran pada pengukuran tetapi tidak begitu besar. Menurut kriteria AIAG, *study variance* total *gauge R&R* lebih dari 10% maka *measurement system* atau sistem pengukuran *bulk density* variabel *untamp* belum dapat

diterima. Nilai total varian gauge R&R berada diatas 10% dapat disimpulkan bahwa sistem pengukuran belum *acceptable* atau belum dapat diterima. Kemudian Gambar 4.17 merupakan peta kendali $\bar{X} - R$ untuk mengendalikan hasil pengukuran *bulk density* variabel *untamp*.



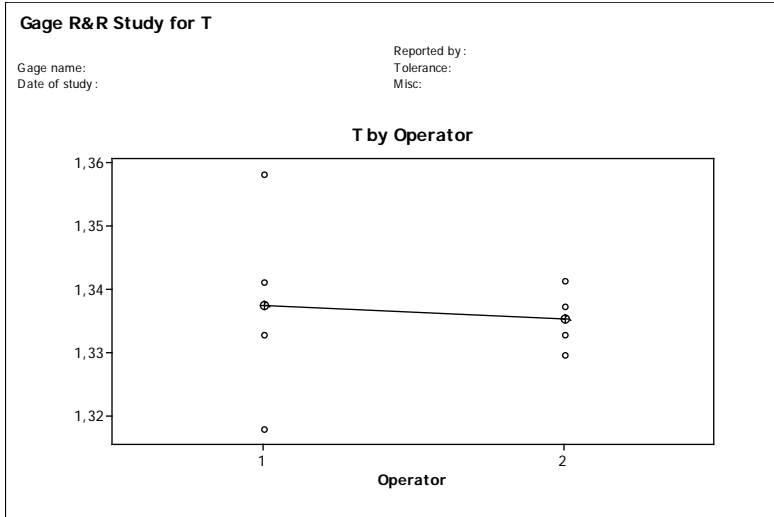
Gambar 4.17 Peta Kendali $\bar{X} - R$ pada Variabel *Tamp*

Gambar 4.17 menggambarkan peta kendali $\bar{X} - R$ dari variabel *tamp* menunjukkan hasil pengukuran operator 1 dan 2 masih terkendali pada peta kendali R. Hal ini dapat diketahui variasi pengukuran hampir mendekati rata-rata R dan masih dalam batas kendali. Pada peta kendali \bar{X} semua pengukuran terkendali secara proses. Hal tersebut dikarenakan plo-plot masih berada dalam batas kendali atas dan batas kendali bawah. Pada Gambar 4.14 merupakan grafik *measurement part to part* atau alat. Gambar tersebut menunjukkan variasi pengukuran pada setiap alat dengan pengulangan sebanyak 2 kali.



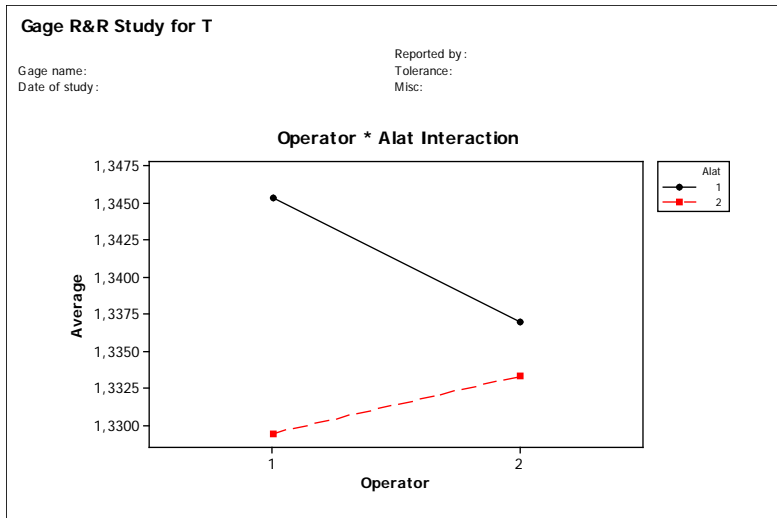
Gambar 4.18 Grafik Measurement Alat Variabel *Tamp*

Gambar 4.18 menunjukkan bahwa rata-rata pengukuran pada setiap alat dengan pengulangan sebanyak 2 kali. Hasil pengukuran yang digambarkan dalam grafik tersebut dapat dilihat bahwa hasil pengukuran pada alat 1 dengan kedua operator mempunyai hasil pengukuran diatas rata-rata. Pada gambar 4.19 merupakan grafik *measurement by operator* menunjukkan pengukuran rata-rata hasil pengukuran kedua operator. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa garis yang menghubungkan antar operator merupakan hasil pengukuran operator 1 dan 2. Hasil pengukuran operator 1 dan 2 memberikan hasil yang hampir sama. Kemudian Gambar 4.20 menggambarkan measurement interaksi antara alat dan operator.



Gambar 4.19 Grafik Measurement Operator Variabel *Tamp*

Pada Gambar 4.20 menunjukkan hasil pengukuran *measurement* interaksi antara faktor alat dan operator tidak memberikan interaksi. Selain itu dapat dilihat hasil pengukuran operator 1 dan 2 dengan masing-masing alat sedikit jauh berbeda. Hal tersebut dikarenakan salah satu operator adalah peneliti dan bukan analis sesungguhnya. Salah satu operator tersebut juga belum terlatih dan belum terbiasa seperti analis sesungguhnya dalam pengukuran *bulk density*.



Gambar 4.20 Grafik Measurement Interaksi Variabel *Tamp*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran 1 Output Minitab ANOVA Variabel Untamp

General Linear Model: UT versus Operator; Alat

Factor	Type	Levels	Values
Operator	fixed	2	1; 2
Alat	fixed	2	1; 2

Analysis of Variance for UT, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Operator	1	0,0000066	0,0000066	0,0000066	0,01	0,926
Alat	1	0,0007805	0,0007805	0,0007805	1,14	0,345
Operator*Alat	1	0,0007422	0,0007422	0,0007422	1,09	0,356
Error	4	0,0027280	0,0027280	0,0006820		
Total	7	0,0042574				

S = 0,0261150 R-Sq = 35,92% R-Sq(adj) = 0,00%

Lampiran 2 Output Minitab Uji Perbandingan Tukey Variabel Untamp

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Operator	N	Mean	Grouping
2	4	1,215	A
1	4	1,213	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95,0% Simultaneous Confidence Intervals

Response Variable UT

All Pairwise Comparisons among Levels of Operator

Operator = 1 subtracted from:

Operator	Lower	Center	Upper	
2	-0,04945	0,001823	0,05309	(-----*-----)
				-0,030 0,000 0,030 0,060

Tukey Simultaneous Tests

Response Variable UT

All Pairwise Comparisons among Levels of Operator

Operator = 1 subtracted from:

Operator	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	0,001823	0,01847	0,09871	0,9261

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Alat	N	Mean	Grouping
2	4	1,224	A
1	4	1,204	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95,0% Simultaneous Confidence Intervals

Response Variable UT

All Pairwise Comparisons among Levels of Alat

Alat = 1 subtracted from:

Alat	Lower	Center	Upper	
2	-0,03152	0,01975	0,07102	(-----*-----)
				-0,030 0,000 0,030 0,060

Lampiran 2 *Output Minitab Uji Perbandingan Tukey Variabel Untamp (Lanjutan)*

Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable UT
 All Pairwise Comparisons among Levels of Alat
 Alat = 1 subtracted from:

Alat	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	0,01975	0,01847	1,070	0,3450

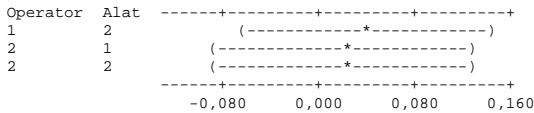
Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Operator	Alat	N	Mean	Grouping
1	2	2	1,233	A
2	2	2	1,215	A
2	1	2	1,215	A
1	1	2	1,194	A

Means that do not share a letter are significantly different.

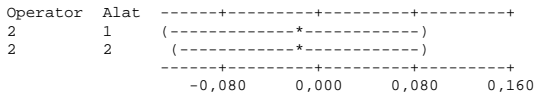
Tukey 95,0% Simultaneous Confidence Intervals
 Response Variable UT
 All Pairwise Comparisons among Levels of Operator*Alat
 Operator = 1
 Alat = 1 subtracted from:

Operator	Alat	Lower	Center	Upper
1	2	-0,06735	0,03902	0,1454
2	1	-0,08528	0,02109	0,1275
2	2	-0,08479	0,02158	0,1279



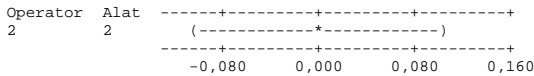
Operator = 1
 Alat = 2 subtracted from:

Operator	Alat	Lower	Center	Upper
2	1	-0,1243	-0,01793	0,08843
2	2	-0,1238	-0,01744	0,08892



Operator = 2
 Alat = 1 subtracted from:

Operator	Alat	Lower	Center	Upper
2	2	-0,1059	0,000490	0,1069



Tukey Simultaneous Tests
 Response Variable UT
 All Pairwise Comparisons among Levels of Operator*Alat
 Operator = 1
 Alat = 1 subtracted from:

Operator	Alat	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
1	2	0,03902	0,02612	1,4941	0,5158
2	1	0,02109	0,02612	0,8075	0,8486
2	2	0,02158	0,02612	0,8262	0,8404

Lampiran 2 Output Minitab Uji Perbandingan Tukey Variabel Untamp (Lanjutan)

Operator = 1
Alat = 2 subtracted from:

Operator	Alat	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	1	-0,01793	0,02612	-0,6867	0,8973
2	2	-0,01744	0,02612	-0,6679	0,9041

Operator = 2
Alat = 1 subtracted from:

Operator	Alat	Difference of Means	SE of Difference	T-Value	Adjusted P-Value
2	2	0,000490	0,02612	0,01877	1,000

Lampiran 3 Output Minitab Uji Glejser Variabel Untamp

Regression Analysis: abs RESI1 versus FITS1

The regression equation is
abs RESI1 = - 0,021 + 0,032 FITS1

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-0,0209	0,1849	-0,11	0,914	
FITS1	0,0318	0,1523	0,21	0,841	1,000

S = 0,00595577 R-Sq = 0,7% R-Sq(adj) = 0,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00000155	0,00000155	0,04	0,841
Residual Error	6	0,00021283	0,00003547		
Total	7	0,00021438			

Lampiran 4 Output Minitab MSA Variabel Untamp

Gage R&R Study: UT versus Alat; Operator

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Alat	fixed	2	1; 2
Operator	fixed	2	1; 2

ANOVA Table with All Terms

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Alat	1	0,0007805	0,0007805	0,0007805	1,14	0,345
Operator	1	0,0000066	0,0000066	0,0000066	0,01	0,926
Alat*Operator	1	0,0007422	0,0007422	0,0007422	1,09	0,356
Repeatability	4	0,0027280	0,0027280	0,0006820		
Total	7	0,0042574				

Alpha to remove interaction term = 0,25

ANOVA Table with Terms Used for Gage R&R Calculations

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Alat	1	0,0007805	0,0007805	0,0007805	1,12	0,337
Operator	1	0,0000066	0,0000066	0,0000066	0,01	0,926
Repeatability	5	0,0034702	0,0034702	0,0006940		
Total	7	0,0042574				

Lampiran 4 Output Minitab MSA Variabel Untamp (Lanjutan)

```

Variance Components
Source              VarComp      %Contribution
                    (of VarComp)
Total Gage R&R      0,0006949      87,69
  Repeatability     0,0006940      87,58
  Reproducibility   0,0000008      0,10
    Operator         0,0000008      0,10
Part-To-Part        0,0000976      12,31
  Alat              0,0000976      12,31
Total Variation     0,0007924      100,00

Gage Evaluation
Source              StdDev (SD)   Study Var     %Study Var
                    (6 * SD)           (%SV)
Total Gage R&R      0,0263605     0,158163      93,64
  Repeatability     0,0263447     0,158068      93,59
  Reproducibility   0,0009113     0,005468      3,24
    Operator         0,0009113     0,005468      3,24
Part-To-Part        0,0098774     0,059264      35,09
  Alat              0,0098774     0,059264      35,09
Total Variation     0,0281503     0,168902      100,00

Number of Distinct Categories = 1

```

Lampiran 5 Output Minitab ANOVA Variabel Tamp

General Linear Model: T versus Operator; Alat

```

Factor   Type   Levels  Values
Operator fixed    2  1; 2
Alat     fixed    2  1; 2

```

Analysis of Variance for T, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Operator	1	0,0000104	0,0000104	0,0000104	0,06	0,814
Alat	1	0,0001903	0,0001903	0,0001903	1,16	0,342
Operator*Alat	1	0,0000758	0,0000758	0,0000758	0,46	0,534
Error	4	0,0006562	0,0006562	0,0001641		
Total	7	0,0009327				

S = 0,0128082 R-Sq = 29,64% R-Sq(adj) = 0,00%

Lampiran 6 Output Minitab Uji Perbandingan Tukey Variabel Tamp

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Operator	N	Mean	Grouping
1	4	1,337	A
2	4	1,335	A

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95,0% Simultaneous Confidence Intervals

Response Variable T

All Pairwise Comparisons among Levels of Operator

Operator = 1 subtracted from:

Operator	Lower	Center	Upper	
2	-0,02743	-0,002279	0,02287	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
-0.015 0.000 0.015

Lampiran 6 Output Minitab Uji Perbandingan Tukey Variabel Tamp (Lanjutan)

```

Operator = 1
Alat = 2 subtracted from:

Operator  Alat    Lower    Center    Upper
2         1      -0,04469  0,007475  0,05964
2         2      -0,04829  0,003876  0,05604

Operator  Alat  -----+-----+-----+-----
2         1      (-----*-----)
2         2      (-----*-----)
                -----+-----+-----
                  -0,035    0,000    0,035

Operator = 2
Alat = 1 subtracted from:

Operator  Alat    Lower    Center    Upper
2         2      -0,05577  -0,003599  0,04857

Operator  Alat  -----+-----+-----+-----
2         2      (-----*-----)
                -----+-----+-----
                  -0,035    0,000    0,035

Tukey Simultaneous Tests
Response Variable T
All Pairwise Comparisons among Levels of Operator*Alat
Operator = 1
Alat = 1 subtracted from:

Operator  Alat    Difference    SE of    Adjusted
          of Means    Difference    T-Value    P-Value
1         2      -0,01591    0,01281    -1,242    0,6369
2         1      -0,00843    0,01281    -0,659    0,9074
2         2      -0,01203    0,01281    -0,940    0,7880

Operator = 1
Alat = 2 subtracted from:

Operator  Alat    Difference    SE of    Adjusted
          of Means    Difference    T-Value    P-Value
2         1      0,007475    0,01281    0,5836    0,9320
2         2      0,003876    0,01281    0,3026    0,9890

Operator = 2
Alat = 1 subtracted from:

Operator  Alat    Difference    SE of    Adjusted
          of Means    Difference    T-Value    P-Value
2         2      -0,003599    0,01281    -0,2810    0,9911

```

Lampiran 7 Output Minitab Uji Glejser Variabel Tamp

Regression Analysis: abs RESI2 versus FITS2

The regression equation is
 $\text{abs RESI2} = -0,255 + 0,197 \text{ FITS2}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-0,2550	0,3616	-0,71	0,507	
FITS2	0,1969	0,2706	0,73	0,494	1,000

S = 0,00449924 R-Sq = 8,1% R-Sq(adj) = 0,0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00001071	0,00001071	0,53	0,494
Residual Error	6	0,00012146	0,00002024		
Total	7	0,00013217			

Lampiran 8 Output Minitab MSA Variabel Tamp

Gage R&R Study: T versus Alat; Operator

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Alat	fixed	2	1; 2
Operator	fixed	2	1; 2

ANOVA Table with All Terms

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Alat	1	0,0001903	0,0001903	0,0001903	1,16	0,342
Operator	1	0,0000104	0,0000104	0,0000104	0,06	0,814
Alat*Operator	1	0,0000758	0,0000758	0,0000758	0,46	0,534
Repeatability	4	0,0006562	0,0006562	0,0001641		
Total	7	0,0009327				

Alpha to remove interaction term = 0,25

ANOVA Table with Terms Used for Gage R&R Calculations

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Alat	1	0,0001903	0,0001903	0,0001903	1,30	0,306
Operator	1	0,0000104	0,0000104	0,0000104	0,07	0,801
Repeatability	5	0,0007320	0,0007320	0,0001464		
Total	7	0,0009327				

Variance Components

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0001477	86,13
Repeatability	0,0001464	85,37
Reproducibility	0,0000013	0,76
Operator	0,0000013	0,76
Part-To-Part	0,0000238	13,87
Alat	0,0000238	13,87
Total Variation	0,0001715	100,00

Lampiran 8 Output Minitab MSA Variabel Tamp (Lanjutan)

Gage Evaluation			
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0,0121530	0,0729179	92,81
Repeatability	0,0120994	0,0725965	92,40
Reproducibility	0,0011397	0,0068384	8,70
Operator	0,0011397	0,0068384	8,70
Part-To-Part	0,0048772	0,0292630	37,24
Alat	0,0048772	0,0292630	37,24
Total Variation	0,0130951	0,0785706	100,00

Lampiran 9 Output SPSS Distribusi Normal Variabel Untamp dan Tamp

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Untamp	,136	8	,200 [*]	,986	8	,985
Tamp	,215	8	,200 [*]	,948	8	,694

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 10 Perhitungan Uji Durbin Watson Variabel Untamp

RESI1	Abs RESI1	e ²	et-et-1	(et-et-1) ²
-0,021087	0,021087	0,000445		
0,021087	0,021087	0,000445	0,042175	0,001779
-0,023256	0,023256	0,000541	-0,044343	0,001966
0,023256	0,023256	0,000541	0,046512	0,002163
0,016870	0,016870	0,000285	-0,006386	0,000041
-0,016870	0,016870	0,000285	-0,033740	0,001138
0,009690	0,009690	0,000094	0,026560	0,000705
-0,009690	0,009690	0,000094	-0,019380	0,000376
Total		0,002728	Total	0,008168
d	2,994328			
4-d	1,005672			

Lampiran 11 Perhitungan Uji *Durbin Watson* Variabel *Tamp*

RESI2	Abs RESI2	e²	et-et-1	(et-et-1)²
-0,012652	0,012652	0,000160		
0,012652	0,012652	0,000160	0,025305	0,000640
-0,011628	0,011628	0,000135	-0,024280	0,000590
0,011628	0,011628	0,000135	0,023256	0,000541
0,004217	0,004217	0,000018	-0,007410	0,000055
-0,004217	0,004217	0,000018	-0,008435	0,000071
0,003876	0,003876	0,000015	0,008093	0,000066
-0,003876	0,003876	0,000015	-0,007752	0,000060
Total	0,000656	Total	0,002022	

d	3,081909
4-d	0,918091

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- AIAG. (2010). *Measurement System Analysis: Reference Manual 4th edition*. Automotive Industry Action Group, Chrysler, Ford, GM.
- American Society for Testing and Material (ASTM). (1989). *Natural Building Stone: Soil and Rock. Dalam Annual Book of ASTM Standart (Part 19)*. Philadelphia.
- Daniel, W. W. (1989). *Statistika Nonparametrik Terapan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Draper, N., & Smith, H. (1992). *Analisis Regresi Terapan Edisi Kedua*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Gaspersz, V. (1991). *Desain Eksperimen: Kampus Ganesha, ITB*.
- Gujarati, D. N., & Porter D. C. (2008). *Basic Econometrics, Fifth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies.
- IK-39-4115. *Cara Uji Bulk Density*.
- Joglekar, Anand M. (2003). *Statistical Methods for Six Sigma*. Canada: A. John Willey & Sons, Inc.
- Marpaung, C. A. (2011). *Uji Sifat Fisik dan Evaluasi Kecernaan Biskuit Berbasis Rumput Lapang dan Limbah Tanaman Jagung pada Domba*. Bogor: Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB.
- Montgomery, D. C. (2009). *Design and Analysis of Experiments, 8th Edition*. United States of America: John Willey & Son, Inc.
- Oztuna, D., Elhan, A. H., & Tuccar, E. (2006). Investigation of Four Different Normality Test in Term of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. *Med Sci* , 171-176.
- Roth, T. (2012). *Working with The Quality Tools Package*.
- Shapiro, S., & Wilk, M. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality. *Biometrika* , 591-593.
- Shofi, Muhammad Farid. (2014). *Penerapan Metode Measurement System Analysis Gauge Repeatability and Reproducibility (Gauge R&R) pada Pengukuran Transmisi*

Produk kaca PT. XYZ. Surabaya: Jurusan Statistika FMIPA
ITS.

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Ira Oktarini Permatasari dan biasa dipanggil Ira. Lahir di Surabaya tanggal 18 Oktober 1994. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal hingga jenjang Sekolah

Menengah Atas di Surabaya, mulai dari TK Paripurna, SD Negeri Kedurus II/429, SMP Negeri 16, dan SMA Kartika IV-3. Setelah lulus dari SMA tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan di Diploma III Jurusan Statistika FMIPA ITS Surabaya dan terdaftar dengan NRP 1313 030 098. Selama perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan kepanitiaan, organisasi, pelatihan dan seminar. Pada tahun pertama perkuliahan (2013/2014) penulis menjadi anggota Koperasi Mahasiswa (Kopma) Dr. Angka ITS. Tahun 2014/2015 menjadi staff Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (Dep. PSDM) Himpunan Mahasiswa Diploma Statistika Intitut Teknologi Sepuluh Nopember (HIMADATA-ITS) Surabaya dan staff Personalia Koperasi Mahasiswa (Kopma) Dr. Angka ITS. Pembaca yang ingin memberikan kritik, saran dan pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat menghubungi melalui:

Email: iraoktarini.P@gmail.com