



TUGAS AKHIR - SS 145561

ANALISIS SISTEM PENGUKURAN TEMPERATUR PADA PROSES *TUBE SEALING* DI PT X

SILVI FITRIA
NRP 1313 030 016

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

ANALISIS SISTEM PENGUKURAN TEMPERATUR PADA PROSES *TUBE SEALING* DI PT X

SILVI FITRIA
NRP 1313 030 016

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 PROJECT - SS 145561

**ANALYSIS OF TEMPERATURE MEASUREMENT
SYSTEM ON TUBE SEALING PROCESS
IN PT X**

**SILVI FITRIA
NRP 1313 030 016**

**Supervisor
Dr. Muhammad Mashuri, MT**

**DIPLOMA III STUDY PROGRAM
DEPARTMENT OF STATISTICS
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS SISTEM PENGUKURAN TEMPERATUR PADA PROSES *TUBE SEALING* DI PT X

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada

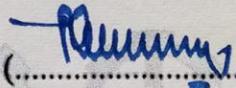
Program Studi Diploma III Jurusan Statistika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

SILVI FITRIA
NRP. 1313 030 016

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

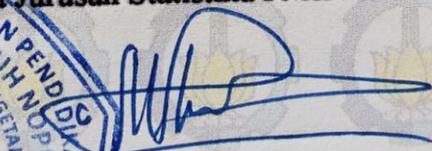
Dr. Muhammad Mashuri, MT
NIP. 19620408 198701 1 001


(.....)

Mengetahui

Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS




Dr. Suhartono
NIP. 19710929 199512 1 001

SURABAYA, JUNI 2016

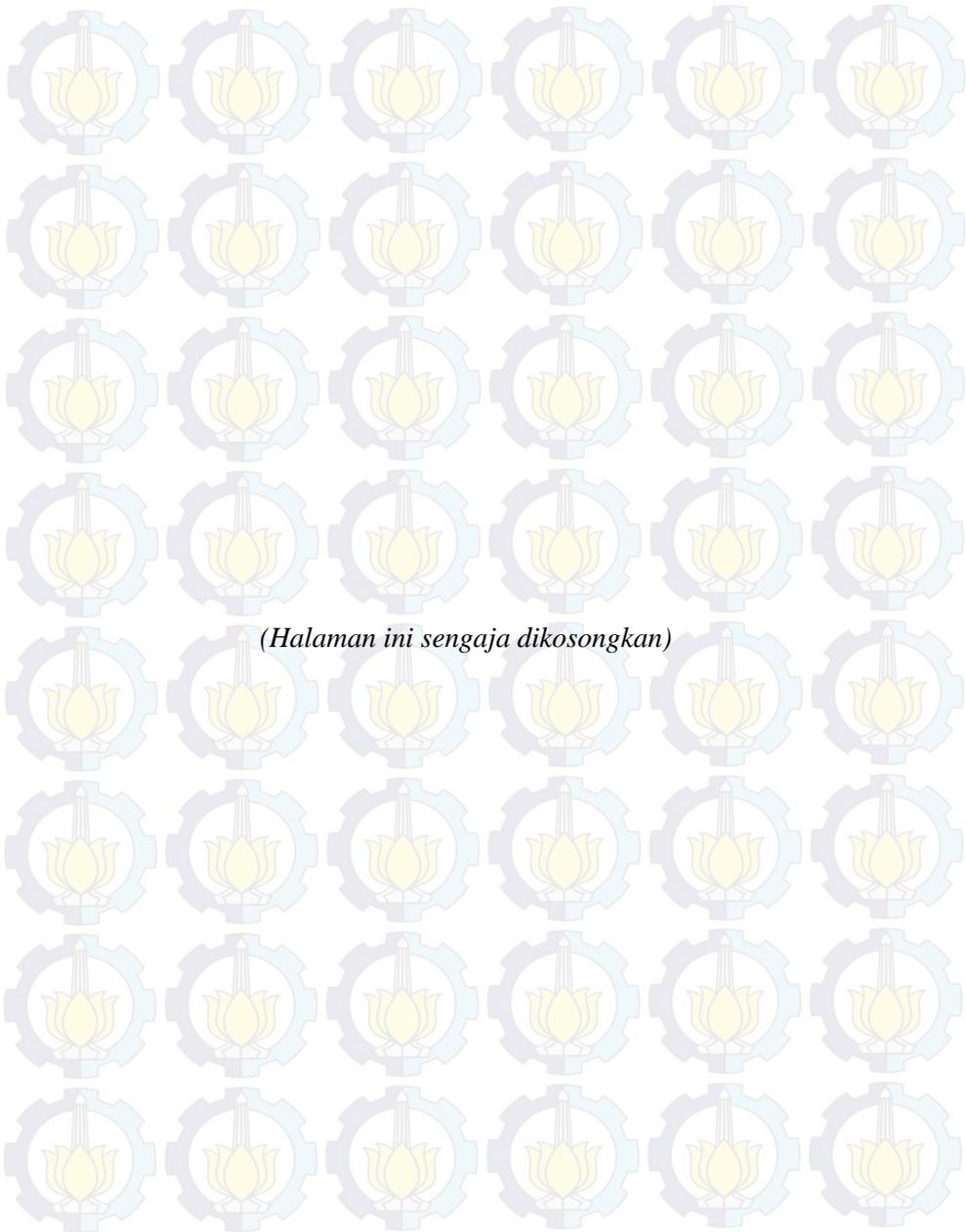
ANALISIS SISTEM PENGUKURAN TEMPERATUR PADA PROSES *TUBE SEALING* DI PT X

Nama Mahasiswa : Silvi Fitria
NRP : 1313 030 016
Program : Diploma III
Jurusan : Statistika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Muhammad Mashuri, MT

Abstrak

Perkembangan teknologi yang pesat menuntut industri di Indonesia untuk terus berkembang dan meningkatkan kualitas. Sebagai perusahaan terbesar yang memproduksi barang kebutuhan sehari-hari, PT X menekankan kualitas proses produksi dan produk terbaik bagi konsumen. Salah satu proses produksi yang menjadi perhatian penting adalah proses *Tube Sealing*. Proses ini menentukan ketidaksesuaian produk yang dapat dilihat dari sistem pengukuran temperaturnya. Oleh karena itu, proses *Tube Sealing* perlu dianalisis sistem pengukurannya, sehingga dapat dijamin bahwa sistem pengukuran tersebut telah konsisten dan akurat. Analisis sistem pengukuran yang digunakan adalah *Gauge Repeatability and Reproducibility* dengan ANOVA percobaan faktorial dua faktor. Faktor yang dipertimbangkan adalah faktor *Hot Air* dan *operator*. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pengukuran temperatur tidak kapabel, yang dinyatakan dengan keenam ukuran kriteria *Measurement System Analysis*. Hal ini menunjukkan sistem pengukuran tidak akurat dan presisi dalam mengukur temperatur. *Hot Air* yang teridentifikasi sangat tidak kapabel dalam sistem pengukuran temperatur adalah *Hot Air 3* dan *Hot Air 1*. Dengan demikian perlu dilakukan perbaikan dan penggantian komponen yang rusak pada *Hot Air 3* dan 1, sehingga didapatkan sistem pengukuran yang akurat dan presisi.

Kata Kunci : ANOVA, *Gauge R&R*, *Hot Air*, *Measurement System Analysis*, *Tube Sealing*.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

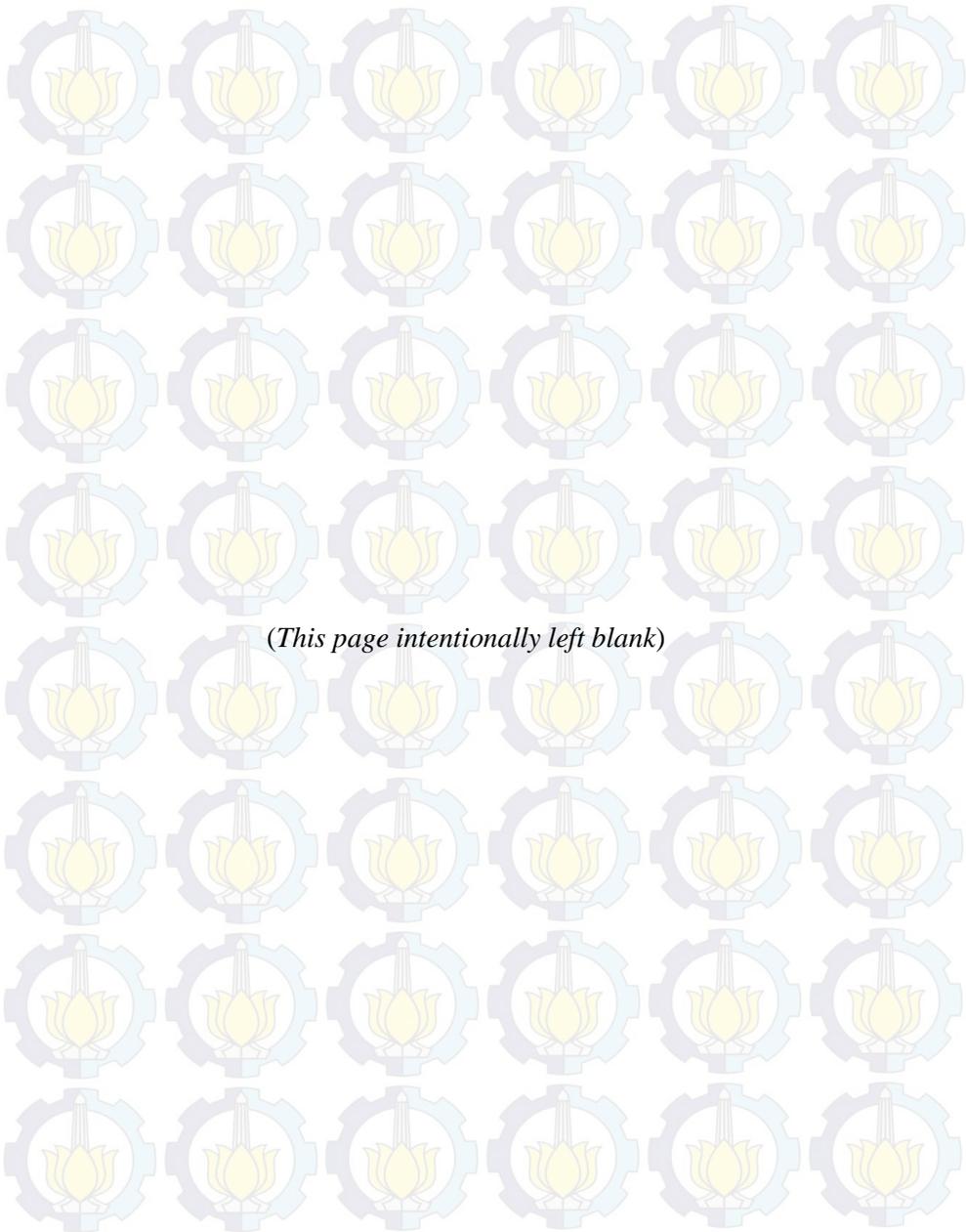
ANALYSIS OF TEMPERATURE MEASUREMENT SYSTEM ON TUBE SEALING PROCESS IN PT X

Student Name : Silvi Fitria
NRP : 1313 030 016
Program : Diploma III
Department : Statistika FMIPA ITS
Academic Supervisor : Dr. Muhammad Mashuri, MT

Abstract

Rapid technological developments have brought new challenges for the quality improvement in industrial competition. As the largest Fast Moving Consumer Goods company in Indonesia, PT X emphasizes the best quality of the production process and product for the consumers. One of the important production process to be concerned is Tube Sealing process. This process determines the nonconforming product, which can be seen from the temperature measurement system on the tube. Therefore, a measurement system analysis of tube sealing process is needed, to validate whether the measurement system has been able to measure consistently and accurately. Measurement system analysis used is Gauge Repeatability and Reproducibility with two-factor ANOVA factorial experimental design. There are two factors to be considered, Hot Air and operator factor. The analysis result proves that the measurement system of Hot Air temperature is not capable. The sixth size criterion states that Measurement System Analysis of Hot Air temperature is incapable, which means not accurate and precise in measuring the temperature. Hot Air which very incapable of measure accurately is Hot Air 3 and 1. Thus the replacement and improvement of faulty component is very needed, then the measurement system gives the accurate and precision measure.

Keywords : ANOVA, Gauge R&R, Hot Air, Measurement System Analysis, Tube Sealing.



(This page intentionally left blank)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena berkat rahmat, karunia, taufik, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Sistem Pengukuran Temperatur pada Proses Tube Sealing di PT X**”.

Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik karena bantuan, dukungan, dan peran serta dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada.

1. Bapak Dr. Muhammad Mashuri, MT selaku dosen pembimbing yang dengan ikhlas dan sabar membantu, memberikan waktu, tenaga, dan pikiran serta nasihat dalam pengerjaan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Suhartono selaku Ketua Jurusan Statistika FMIPA-ITS yang telah menyediakan fasilitas untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Wahyu Wibowo, S.Si, M.Si selaku Ketua Program Studi Diploma Jurusan Statistika FMIPA-ITS atas bantuan dan semua informasi yang diberikan.
4. Ibu Ir. Mutiah Salamah Chamid, M.Kes selaku dosen wali serta dosen penguji yang membimbing, memotivasi, dan memberikan nasihat selama menjadi mahasiswa.
5. Ibu Dra. Lucia Aridinanti, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Statistika ITS yang telah memberikan ilmu dan pelajaran hidup yang berharga.
7. Mama tercinta Yulis, pahlawan hidup penulis yang selama ini selalu mencintai dengan tulus, mengorbankan segalanya, mendoakan, memberikan tangis, keringat, senyum, tawa, dan motivasi terbesar kepada penulis. Tugas Akhir ini hanya sebagian kecil penulis berikan sebagai ucapan terima kasih yang tidak akan mampu menggantikan segala kasih yang telah penulis terima.

8. Bapak Citra Wira Laksana selaku pembimbing lapangan di perusahaan yang telah memberi arahan dan bimbingan selama observasi serta dukungan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
9. Ibu Maria Christina, Bapak Jangkung Widodo, Bapak Aji Mudho, Bapak Farid Isnawan, dan Bapak Yanwar Agung yang telah banyak membantu dan membimbing saat observasi di perusahaan.
10. Seluruh *operator* dan karyawan perusahaan, terutama *operator Line D11* yang banyak memberi penjelasan mengenai permasalahan pada mesin dan memberikan bimbingan selama observasi.
11. Teman-teman SPC Group yakni seluruh anak bimbingan Pak Mashuri yang telah memberi banyak masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
12. Senior mahasiswa Statistika ITS khususnya Diploma III yang telah membantu dan memberi masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir.
13. Teman-teman Diploma III Statistika ITS pejuang wisuda 114 atas semangat dan keceriaan yang dibagikan.
14. Pihak-pihak lain yang telah mendukung dan membantu atas terselesaikannya Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembaca. Kritik dan saran sangat diperlukan untuk perbaikan di masa yang akan datang.

Surabaya, Juni 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Percobaan Faktorial.....	5
2.1.1 Uji Asumsi Residual IIDN.....	8
2.2 <i>Measurement System Analysis</i>	11
2.2.1 <i>Measurement System Analysis</i> Tipe I.....	12
2.2.2 <i>Measurement System Analysis</i> Tipe II.....	13
2.3 <i>Proses Tube Sealing</i>	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Rancangan Eksperimen.....	21
3.2 Langkah Analisis.....	23
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	
4.1 ANOVA Temperatur <i>Hot Air</i>	27
4.1.1 Asumsi Residual IIDN.....	32
4.2 <i>Measurement System Analysis</i>	37
4.2.1 MSA Tipe I pada Temperatur <i>Hot Air</i>	38

4.2.2 MSA Tipe II pada Temperatur <i>Hot Air</i>	41
--	----

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA	53
-----------------------------	----

LAMPIRAN	55
-----------------------	----

DAFTAR GAMBAR

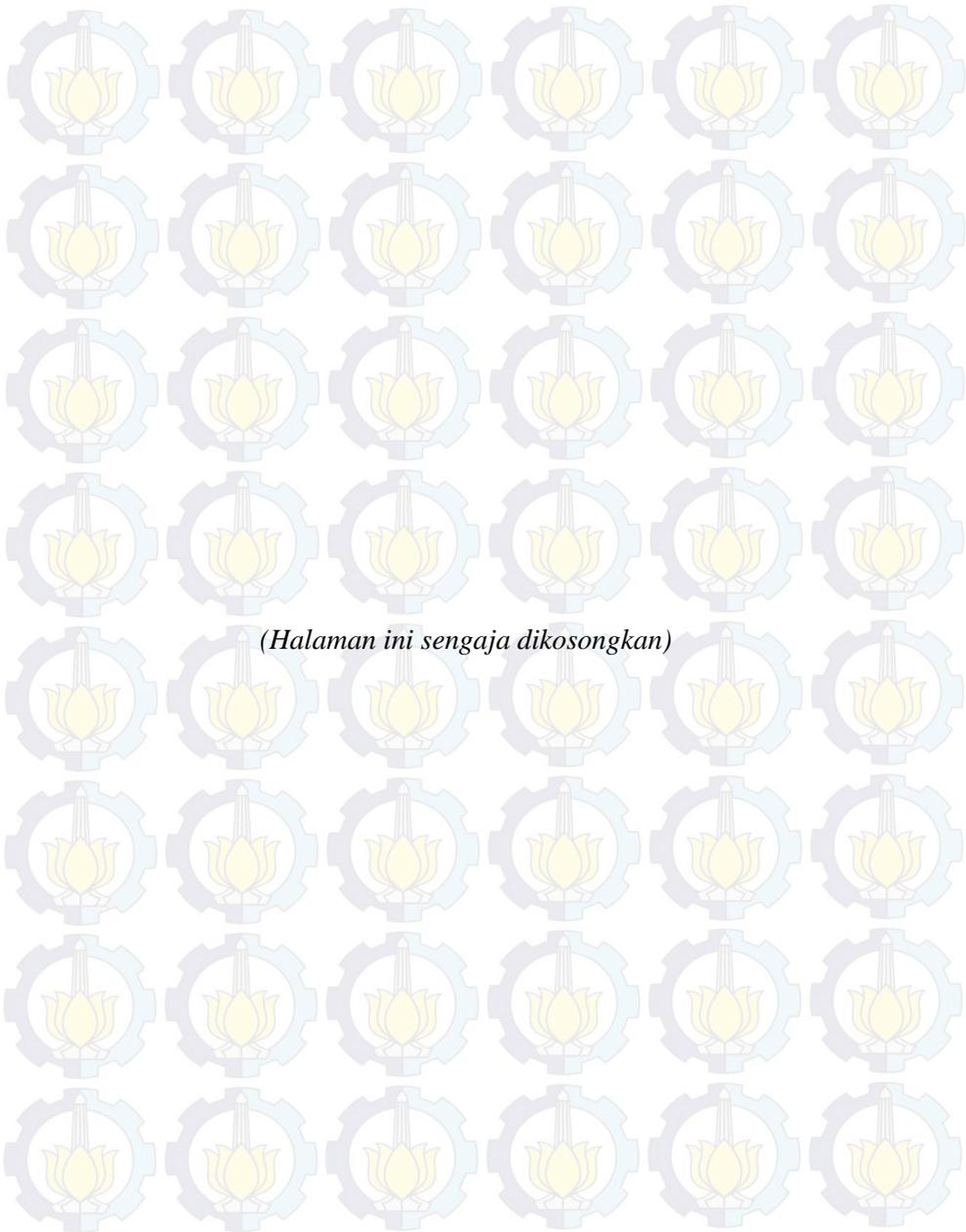
	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir	24
Gambar 4.1 Selang Interval Faktor <i>Hot Air</i>	28
Gambar 4.2 Selang Interval Tanpa <i>Hot Air</i> 3	30
Gambar 4.3 Selang Interval Tanpa <i>Hot Air</i> 1 dan 3.....	31
Gambar 4.4 Pemeriksaan Asumsi Identik.....	32
Gambar 4.5 Pemeriksaan Asumsi Independen.....	33
Gambar 4.6 Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal	34
Gambar 4.7 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN Tanpa <i>Hot Air</i> 3.....	35
Gambar 4.8 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN Tanpa <i>Hot Air</i> 1 dan 3	36
Gambar 4.9 Kapabilitas Masing-masing Hot Air	40
Gambar 4.10 Histogram Variasi Komponen <i>Gauge R&R</i>	45
Gambar 4.11 Peta X-bar dan S <i>Gauge R&R</i>	46
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Berdasarkan <i>Hot Air</i>	47
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Berdasarkan <i>Operator</i>	48
Gambar 4.14 Hasil Pengukuran Berdasarkan Interaksi Faktor	49



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 ANOVA.....	8
Tabel 2.2 Kriteria Pengujian Durbin Watson.....	10
Tabel 3.1 Faktor <i>Hot Air</i>	21
Tabel 3.2 Faktor <i>Operator</i>	21
Tabel 3.3 Struktur Data.....	22
Tabel 4.1 ANOVA Temperatur <i>Hot Air</i>	27
Tabel 4.2 ANOVA Temperatur Tanpa <i>Hot Air</i> 3.....	29
Tabel 4.3 ANOVA Temperatur Tanpa <i>Hot Air</i> 1 dan 3.....	31
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Asumsi Identik.....	33
Tabel 4.5 MSA Tipe I.....	38
Tabel 4.6 Kapabilitas Masing-masing <i>Hot Air</i>	39
Tabel 4.7 MSA Tipe II Metode ANOVA.....	41
Tabel 4.8 Ukuran MSA Tipe II.....	43

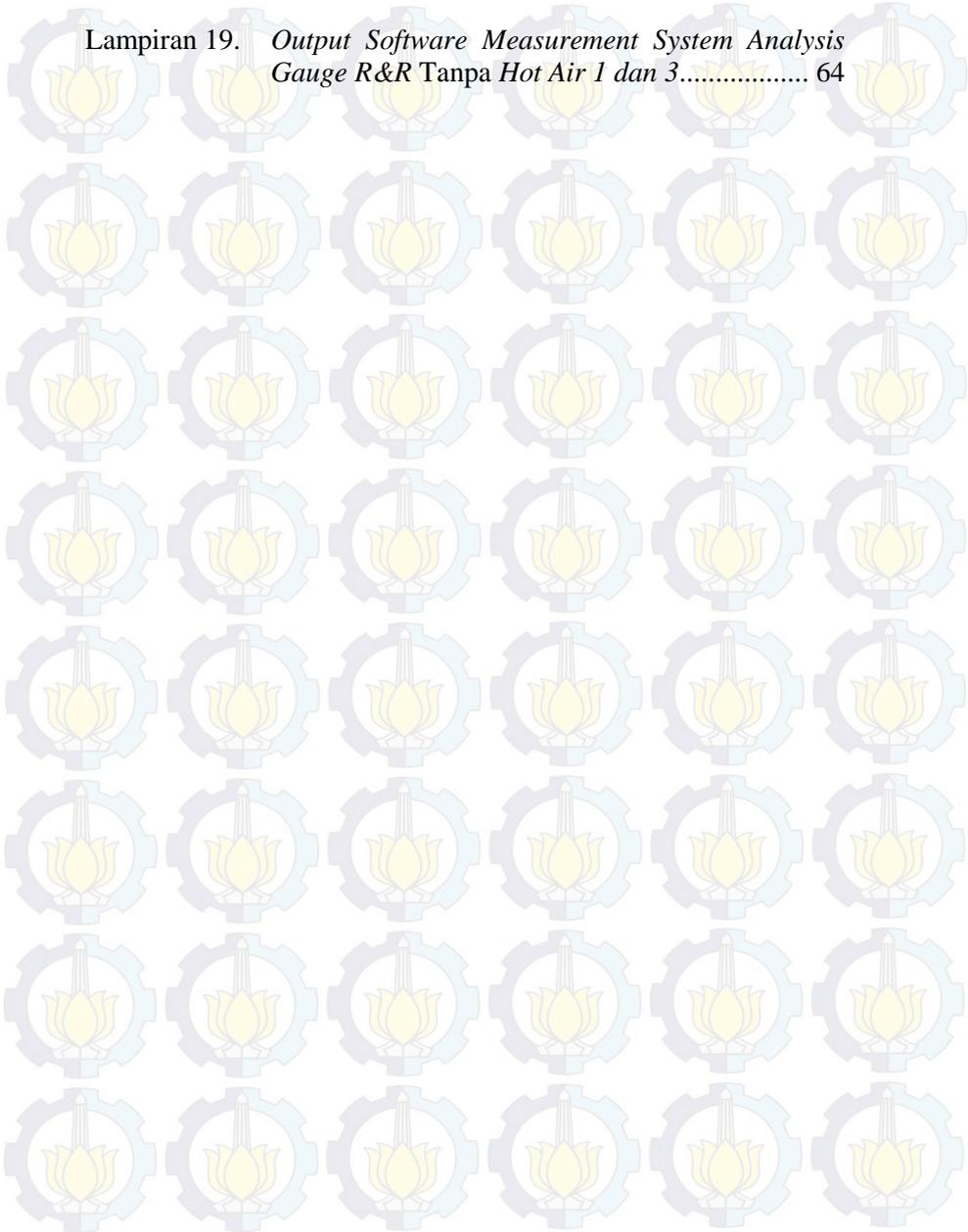


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. <i>Output Software ANOVA (Analysis of Variance) Keseluruhan Faktor</i>	55
Lampiran 2. <i>Output Software Uji Perbandingan Berganda Keseluruhan Faktor</i>	55
Lampiran 3. <i>Output Software ANOVA (Analysis of Variance) Tanpa Hot Air 3</i>	56
Lampiran 4. <i>Output Software Uji Perbandingan Berganda Tanpa Hot Air 3</i>	57
Lampiran 5. <i>Output Software ANOVA (Analysis of Variance) Tanpa Hot Air 1 dan 3</i>	58
Lampiran 6. <i>Uji Glejser ANOVA Tanpa Hot Air 3</i>	58
Lampiran 7. <i>Pemeriksaan Asumsi Residual Distribusi Normal pada ANOVA Tanpa Hot Air 3</i>	58
Lampiran 8. <i>Uji Glejser ANOVA Tanpa Hot Air 1 dan 3</i>	59
Lampiran 9. <i>Pemeriksaan Asumsi Residual Distribusi Normal pada ANOVA Tanpa Hot Air 1 dan 3</i>	59
Lampiran 10. <i>Measurement System Analysis Tipe I</i>	59
Lampiran 11. <i>Measurement System Analysis Tipe I Hot Air 1</i>	60
Lampiran 12. <i>Measurement System Analysis Tipe I Hot Air 2</i>	60
Lampiran 13. <i>Measurement System Analysis Tipe I Hot Air 3</i>	61
Lampiran 14. <i>Measurement System Analysis Tipe I Hot Air 4</i>	61
Lampiran 15. <i>Measurement System Analysis Tipe I Hot Air 5</i>	62
Lampiran 16. <i>Measurement System Analysis Tipe II</i>	62
Lampiran 17. <i>Output Software Measurement System Analysis Gauge R&R</i>	62
Lampiran 18. <i>Perhitungan Manual Precision-to-Tolerance, Signal-to-Noise, dan Discrimination Ratio</i>	63

Lampiran 19. *Output Software Measurement System Analysis Gauge R&R Tanpa Hot Air 1 dan 3..... 64*



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri tidak lepas dari penguasaan teknologi, kemampuan inovasi dalam proses produksi, dan pengendalian mutu dalam proses maupun produk. Kualitas produk yang unggul merupakan hal yang sangat penting untuk dikendalikan dan menjamin mutu produk merupakan kegiatan yang mutlak dilakukan. Kualitas yang baik tidak hanya ditentukan dari hasil produk akhirnya saja, melainkan ditentukan dari proses awal pembuatan hingga produk sampai di tangan konsumen. Montgomery (2009) menjelaskan bahwa pengendalian kualitas dalam bidang industri merupakan aktivitas penting, dimana ciri-ciri kualitas produk yang dihasilkan akan dibandingkan dengan spesifikasi atau persyaratan dan akan diambil sebuah tindakan apabila terdapat ketidaksesuaian antara penampilan akhir produk dengan standar yang telah ditetapkan. ISO 9001:2008 pada klausul 7.6 menetapkan bahwa sebuah perusahaan harus menetapkan pemantauan dan pengukuran untuk memberikan bukti kesesuaian produk terhadap persyaratan yang telah ditetapkan, serta menetapkan proses bahwa pemantauan dan pengukuran dapat dilakukan secara konsisten. Perusahaan yang telah mendapatkan sertifikasi ISO 9001:2008 tentunya harus menerapkan sistem pengukuran yang baik. Oleh karena itu, sistem pengukuran sangat penting untuk dilakukan salah satunya melalui *Measurement System Analysis*.

PT X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang *Fast Moving Consumer Goods* yang memproduksi barang kebutuhan sehari-hari, salah satunya adalah pasta gigi. PT X selama ini telah mengaplikasikan teknologi tinggi dalam operasi proses produksi, dimana seluruh kegiatan proses produksi dilakukan oleh mesin yang dioperasikan menggunakan tenaga kerja manusia. Pada praktiknya, proses produksi di PT X merupakan proses yang berjalan selama 24 jam dalam 6 hari. Kondisi ini menuntut

pengendalian yang ekstra dari komponen mesin proses produksi. Proses *Tube Sealing* adalah salah satu proses dalam pengemasan produk pasta gigi dengan cara pemberian udara panas oleh *Tube Sealer*. Udara panas diberikan pada dinding bagian atas *tube* yang telah diisi pasta untuk melekatkan bagian ujung *tube*, agar isi pasta terjamin tidak keluar dari *tube*. Temperatur udara panas yang dikeluarkan dapat diukur menggunakan *Hot Air*. Proses ini menentukan apakah pasta gigi di dalam *tube* tidak bocor dan keluar dari *tube* atau dinamakan produk cacat. Cacat terbesar yang disebabkan oleh bocornya pasta karena *seal* kurang rapat terdapat pada *Line D11*. Ketidaksesuaian tersebut diduga karena sistem pengukuran yang kurang baik, sehingga proses *Tube Sealing* pada *Line D11* perlu dilakukan *Measurement System Analysis* untuk memvalidasi apakah sistem pengukuran telah kapabel yakni mampu mengukur secara konsisten dan akurat.

Adanya variasi hasil sistem pengukuran diduga dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor *Hot Air* untuk mengukur udara panas dan faktor *operator* yang mengoperasikannya. Berdasarkan permasalahan tersebut, metode penelitian yang digunakan adalah *Measurement System Analysis (Gauge Repeatability dan Reproducibility)*. Oleh karena ada dua faktor yang diduga berpengaruh terhadap hasil sistem pengukuran maka metode *Measurement System Analysis* yang digunakan adalah ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan rancangan percobaan faktorial dua faktor. Demikian akan dapat diketahui variasi yang dihasilkan dari faktor *Hot Air*, *operator*, serta interaksi antara *Hot Air* dan *operator*.

Penelitian mengenai *Measurement System Analysis* telah banyak dilakukan sebelumnya, di antaranya adalah Dewi (2013) dan Yosepha (2015). Dewi (2013) melakukan *Measurement System Analysis* pada *torque wrench* di PT Gaya Motor dan menghasilkan bahwa alat ukur yang digunakan untuk mengukur *torque wrench* di PT Gaya Motor telah *acceptable* dan faktor *torque wrench* berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran. Yosepha (2015) juga melakukan penelitian mengenai

Measurement System Analysis pada proses *pumping* dan *gas pressure* produksi lampu. Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa *measurement system* tidak kapabel pada sistem pengukuran *emitter weight* dan *gas pressure*, serta faktor *operator, part*, dan interaksi dari kedua faktor tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil pengukuran.

1.2 Rumusan Masalah

Proses *Tube Sealing* adalah salah satu proses dalam pengemasan produk pasta gigi dengan cara pemberian udara panas, dimana temperatur udara panas dapat diukur menggunakan *Hot Air*. Proses ini sangat menentukan ketidaksesuaian produk, yang ditandai dengan bocornya pasta dari dalam *tube*. Hal ini diduga karena sistem pengukuran temperatur yang kurang baik. Oleh karena itu, rumusan masalah umum yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah apakah sistem pengukuran temperatur *Hot Air* pada proses *Tube Sealing Line D11* telah kapabel? Faktor-faktor yang diduga mempengaruhi variasi hasil sistem pengukuran pada proses *Tube Sealing* adalah faktor *Hot Air* dan faktor *operator* yang mengoperasikannya. *Operator* yang akan dibandingkan adalah *operator* antar *shift*, walaupun antar *operator* memiliki kemampuan yang sama namun diduga memiliki perlakuan yang berbeda terhadap *Hot Air*. Oleh karena itu, rumusan masalah khusus yang akan diselesaikan adalah bagaimana pengaruh dari faktor *Hot Air*, faktor *operator*, serta interaksi antara *Hot Air* dan *operator* terhadap hasil sistem pengukuran pada proses *Tube Sealing Line D11*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis kapabilitas sistem pengukuran temperatur pada proses *Tube Sealing Line D11*.

2. Mengetahui faktor manakah yang berpengaruh terhadap hasil pengukuran temperatur pada proses *Tube Sealing Line* D11.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat untuk perbaikan sistem kerja *Hot Air* dari hasil analisis yang didapatkan, tindakan yang harus diambil selanjutnya apabila *Hot Air* tidak kapabel, dan memperbaiki kualitas proses produksi pasta gigi agar tidak menghasilkan produk yang cacat. Selain itu, penelitian ini bermanfaat bagi peneliti selanjutnya jika menggunakan metode *Measurement System Analysis* atau menganalisis topik yang sama.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem pengukuran proses produksi yang dianalisis adalah kelima *channel Hot Air Line* D11 pada proses produksi pasta gigi di PT X, yaitu *Hot Air* 1 sampai dengan *Hot Air* 5.
2. Pengukuran dilakukan ketika proses produksi sedang berlangsung yaitu saat mesin beroperasi, tidak saat mesin mati atau saat mesin baru dinyalakan.
3. Sebelum pengukuran dilakukan, kelima *Hot Air* telah di-*setting* sesuai dengan standar dalam batas spesifikasi.
4. Tidak ada hubungan antara masing-masing *Hot Air* atau antar kelima *Hot Air* independen.
5. *Operator* telah mendapatkan *training* yang sama dari perusahaan dan diasumsikan memiliki kemampuan yang sama.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rancangan Faktorial

Rancangan faktorial secara umum digunakan dalam percobaan yang melibatkan beberapa faktor untuk mengetahui pengaruh faktor terhadap variabel respon. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan percobaan faktorial dua faktor yaitu faktor A dan B. Rancangan faktorial dua faktor adalah suatu percobaan yang dirancang dengan dua buah faktor utama, yaitu faktor *part* mesin atau alat ukur dan faktor *operator*. Faktor *part* mesin atau *Hot Air* terdiri atas i -level ($i=1,2,\dots,a$) sedangkan faktor *operator* terdiri atas j -level. Percobaan dilakukan berulang sebanyak k -perulangan ($k=1,2,\dots,n$). Model matematis untuk rancangan faktorial dua faktor adalah sebagai berikut (Montgomery, 2013).

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad (2.1)$$

dimana

$$i = 1,2,3,\dots,a$$

$$j = 1,2,3,\dots,b$$

$$k = 1,2,3,\dots,n$$

Y_{ijk} = pengamatan pada satuan percobaan ke- k yang memperoleh kombinasi perlakuan taraf ke- i dari faktor A dan taraf ke- j dari faktor B

μ = nilai tengah populasi

τ_i = pengaruh taraf ke- i dari faktor A

β_j = pengaruh taraf ke- j dari faktor B

$(\tau\beta)_{ij}$ = pengaruh interaksi taraf ke- i dari faktor A dan taraf ke- j dari faktor B

ε_{ijk} = pengaruh galat dari suatu percobaan ke- k yang memperoleh kombinasi perlakuan ij . $\varepsilon_{ijk} \approx N(0, \sigma^2)$

Asumsi yang paling mendasar dari persamaan model 2.1 adalah galat percobaan harus timbul secara acak, menyebar secara

bebas dan berdistribusi normal dengan nilai tengah sama dengan nol dan ragam σ^2 , atau dapat dituliskan sebagai $\varepsilon_{ijk} \approx N(0, \sigma^2)$.

Model yang digunakan adalah model tetap (*fixed model*) dapat diasumsikan $\sum_{i=1}^k \tau_i = \sum_{j=1}^k \beta_j = \sum_{ij=1}^k (\tau\beta)_{ij} = 0$ dimana varians dari residual adalah $\text{var}(\varepsilon_{ijk}) = \sigma^2$ dan antar residual independen $E(\varepsilon_{ijk}) = 0$ untuk semua ijk , serta residual berdistribusi normal dengan rata-rata sama dengan 0 yakni $\varepsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

Pengujian terhadap model dilakukan untuk mengetahui apakah efek dari faktor *Hot Air*, *operator*, dan interaksi kedua faktor tersebut memberikan pengaruh faktor yang signifikan. Pengujian terhadap hasil pengamatan dari rancangan percobaan dapat dilakukan menggunakan tabel ANOVA (*Analysis of Variance*). Hipotesis yang digunakan untuk pengujian ANOVA adalah sebagai berikut.

Pengaruh utama faktor A (faktor *Hot Air*)

H_0 : semua $\tau_i = 0$ (faktor *Hot Air* tidak berpengaruh terhadap temperatur udara panas)

H_1 : minimal ada satu $\tau_i \neq 0$ (ada pengaruh antara faktor *Hot Air* terhadap temperatur udara panas)

Pengaruh utama faktor B (faktor *operator*)

H_0 : semua $\beta_j = 0$ (faktor *operator* tidak berpengaruh terhadap temperatur udara panas)

H_1 : minimal ada satu $\beta_j \neq 0$ (ada pengaruh antara faktor *operator* terhadap temperatur udara panas)

Pengaruh interaksi antara faktor A (*Hot Air*) dan faktor B (*Operator*)

H_0 : semua $(\tau\beta)_{ij} = 0$ (tidak ada pengaruh interaksi terhadap temperatur udara panas)

H_1 : minimal ada satu $(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh interaksi terhadap temperatur udara panas)

Pengujian ANOVA pada rancangan faktorial ini memiliki daerah kritis yaitu menolak H_0 jika nilai *P-value* lebih kecil dari taraf signifikan ($P\text{-value} < \alpha$) atau nilai F_{hitung} lebih besar dari nilai F_{tabel} ($F_{hitung} > F_{\alpha, (a-1), ab(n-1)}$) (Montgomery, 2013).

Statistik uji dapat dinyatakan dengan persamaan berikut dimana $y_{i..}$ adalah total seluruh observasi pada level ke- i faktor A, $y_{.j.}$ adalah total seluruh observasi pada level ke- j faktor B, dan $y_{ij.}$ total seluruh observasi pada level ij dan $y_{...}$ total keseluruhan dari seluruh observasi, dimanakan $i=1,2,\dots,a$ dan $j=1,2,\dots,b$

$$\begin{aligned} y_{i..} &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} & \bar{y}_{i..} &= \frac{y_{i..}}{bn} \\ y_{.j.} &= \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n y_{ijk} & \bar{y}_{.j.} &= \frac{y_{.j.}}{an} \\ y_{ij.} &= \sum_{k=1}^n y_{ijk} & \bar{y}_{ij.} &= \frac{y_{ij.}}{n} \\ y_{...} &= \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk} & \bar{y}_{...} &= \frac{y_{...}}{abn} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Berdasarkan persamaan 2.2 didapatkan *sum square* untuk setiap faktor adalah sebagai berikut.

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.3)$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn} \quad (2.4)$$

$$SS_{AB} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \right) - SS_A - SS_B \quad (2.5)$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{\dots}^2}{abn} \quad (2.6)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B \quad (2.7)$$

Tabel ANOVA (*Analysis of Variance*) dalam rancangan percobaan faktorial dua faktor adalah sebagai berikut.

Tabel 2.1 ANOVA

Sumber Variasi	Derajat Bebas	Jumlah Kuadrat	Rata-rata Kuadrat	F
Faktor Hot Air	$a - 1$	SS_A	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$\frac{MS_A}{MS_E}$
Faktor Operator	$b - 1$	SS_B	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$\frac{MS_B}{MS_E}$
Interaksi	$(a - 1)(b - 1)$	SS_{AB}	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	$ab(n - 1)$	SS_E	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	$abn - 1$	SS_T		

2.1.1 Uji Asumsi Residual IIDN

Asumsi yang mendasari ANOVA (*Analysis of Variance*) adalah residual identik dalam varian (homogenitas varian), residual independen, dan residual mengikuti fungsi distribusi normal. Asumsi yang tidak terpenuhi membuat pengujian parameter menjadi bias, sehingga jika asumsi IIDN (Identik, Independen, dan Distribusi Normal) tidak terpenuhi maka dilakukan penanggulangan asumsi.

a. Asumsi Residual Identik

Residual bersifat identik yaitu residual mempunyai varian yang homogen (homogenitas varian). Asumsi identik dapat

diketahui dengan melihat plot (e_i dengan \hat{y}_i), jika plot membentuk garis *horizontal band* dan tidak membentuk pola tertentu maka residual dikatakan identik. Pengujian asumsi residual identik dapat dilakukan dengan uji *Glejser*. Pengujian ini dilakukan dengan cara meregresikan nilai absolut residual terhadap variabel bebas atau variabel prediktor (x). Apabila terdapat variabel bebas yang signifikan maka varian residual dikatakan tidak homogen (Gujarati, 2009). Hipotesis yang digunakan untuk uji *Glejser* adalah sebagai berikut.

$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2 = \sigma^2$ (Residual identik)

$H_1: \text{minimal ada satu } \sigma_i^2 \neq \sigma^2$ (Residual tidak identik) dengan $i=1,2,\dots,k$

Statistik uji yang digunakan adalah.

$$F_{\text{hitung}} = \frac{MS_{\text{regresi}}}{MS_{\text{residual}}} \quad (2.8)$$

H_0 ditolak apabila nilai $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha(k, n-k-1)}$. Jika H_0 ditolak maka terdapat perbedaan varian satu atau lebih yang artinya residual tidak memenuhi asumsi identik, apabila hal ini terjadi maka perlu dilakukan penanggulangan asumsi.

b. Asumsi Residual Independen

Pada data yang berbentuk deret waktu (*time series*) perlu dilakukan pengujian untuk menentukan bahwa data tersebut tidak berkorelasi. Pengujian asumsi residual independen juga diperlukan untuk memastikan bahwa antar residual tidak berkorelasi. Asumsi independen dapat diketahui dengan melihat plot antara residual dengan nilai observasi (e_i dengan y_i). Apabila plot tidak membentuk pola tertentu maka residual dikatakan independen. Pengujian asumsi residual independen yang paling sering digunakan adalah uji *Durbin Watson* dengan hipotesis sebagai berikut (Gujarati, 2009).

$H_0: \rho = 0$ (Tidak ada korelasi antar residual)

$H_1: \rho \neq 0$ (Ada korelasi antar residual)

Statistik uji yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$d = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2} \quad (2.9)$$

Daerah kritis dapat dicari dengan mengambil d_L sebagai batas bawah dan d_U sebagai batas atas dengan taraf signifikan $\alpha/2$. Kriteria pengujian *Durbin Watson* dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 2.2 Kriteria Pengujian *Durbin Watson*

No	H_0	Keputusan	Daerah Kritis
1	Tidak ada korelasi positif	Tolak H_0	$d < d_L$
		Terima H_0	$d > d_U$
		<i>No decision</i>	$d_L \leq d \leq d_U$
2	Tidak ada korelasi negatif	Tolak H_0	$d > 4-d_L$
		Terima H_0	$d < 4-d_U$
		<i>No decision</i>	$4-d_U \leq d \leq 4-d_L$
3	Tidak ada korelasi positif dan negatif	Tolak H_0	$d < d_L$ atau $d > 4-d_L$
		Terima H_0	$d_U \leq d \leq 4-d_U$
		<i>No decision</i>	$4-d_U \leq d \leq 4-d_L$

Jika H_0 ditolak maka diperoleh kesimpulan ada korelasi antar residual sehingga asumsi residual independen tidak terpenuhi. Apabila hal ini terjadi maka dilakukan penanggulangan asumsi agar didapatkan residual yang independen.

c. Asumsi Residual Distribusi Normal

Pengujian asumsi residual berdistribusi normal digunakan untuk mendeteksi kenormalan residual. Asumsi distribusi normal dapat diketahui dengan melihat plot (qq plot), jika plot mengikuti dan mendekati garis linier maka residual berdistribusi normal. Pengujian untuk asumsi distribusi normal dapat dilakukan dengan uji *Kolmogorov Smirnov*, yaitu dengan membandingkan fungsi distribusi normal kumulatif dari distribusi normal $\{F_0(x)\}$ dengan fungsi distribusi empirik dari sampel $\{S_n(x)\}$ (Gujarati, 2009). Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$H_0: F(x) = F_0(x)$ (Residual berdistribusi normal)

H_1 : minimal ada satu $F(x) \neq F_0(x)$ (Residual tidak berdistribusi normal)

Statistik uji yang digunakan adalah.

$$D = \text{Sup}|S_n(x) - F_0(x)| \quad (2.10)$$

Dimana S_n merupakan fungsi peluang kumulatif data sampel, $F_0(x)$ merupakan fungsi distribusi kumulatif normal, dan D merupakan supremum (nilai maksimum) semua x dari nilai $|S_n(x) - F_0(x)|$. H_0 ditolak apabila $|D| > D_{(1-\alpha, n)}$. Jika H_0 ditolak maka residual tidak memenuhi asumsi residual distribusi normal sehingga perlu dilakukan penanggulangan asumsi.

2.2 Measurement System Analysis

Measurement system atau sistem pengukuran adalah kumpulan dari ukuran dan peralatan, prosedur, manusia, dan lingkungan yang menjadi karakteristik penentu keadaan menjadi terukur. Ketika proses *measurement system* diperlihatkan, akan lebih mudah melihat penyebab variasi yang mengalami ketidaktepatan pengukuran (Joglekar, 2003). Sistem pengukuran yang ideal merupakan pengukuran yang menghasilkan hasil sesuai dengan standar pengukuran, bias dan varian pengukuran sangat kecil. *Measurement system analysis* dapat dikatakan *acceptable* apabila sudah memiliki akurasi dan presisi yang baik. Akurasi dapat dilihat dari *bias*, linieritas dan stabilitas, sedangkan presisi dapat dilihat dari *repeatability* dan *reproducibility*.

Secara umum ada dua sumber yang mempengaruhi akurasi dan presisi alat ukur menurut (Pan, 2004) yaitu.

1. *Gauge error* yaitu ketika *operator* dengan pengukuran yang sama untuk mengukur *part* mesin beberapa kali dengan kondisi sama, maka dapat terjadi hasil pengukuran berbeda. *Error* ini dinamakan *repeatability* atau berasal dari alat ukur itu sendiri.
2. *Inspector error* yaitu kesalahan ketika *operator* berbeda mengukur *part* mesin dalam kondisi sama, kondisi ini

dinamakan *reproducibility*. Kesalahan ini terjadi ketika *operator* tidak mendapatkan pelatihan yang memadai atau *operator* tidak mengukur produk sesuai dengan standar prosedur, dalam hal ini variabilitas berasal dari *operator*.

Dalam *measurement system analysis*, *gauge repeatability* dan *reproducibility* digunakan untuk memperoleh pengukuran alat atau unit secara berulang dengan *operator* yang sama dan pengukuran alat atau unit dengan *operator* yang berbeda (Louka & Besseris, 2010). Dua metode umum yang digunakan pada analisis *Gauge R&R study* adalah.

- a. Metode $\bar{X} - R$ yaitu pendekatan analisis varians yang diikuti dengan estimasi varians komponen.
- b. Metode ANOVA yaitu metode yang mengestimasi standar deviasi dari komponen pada *variability gauge*.

2.2.1 Measurement System Analysis Tipe I

Measurement system analysis type I (MSA Tipe I) merupakan salah satu tipe MSA yang digunakan ketika suatu pengukuran telah diketahui karakteristik datanya dan telah diketahui pula berapa kali pengukuran akan dilakukan. Analisis MSA tipe I ini bertujuan untuk mengevaluasi kapabilitas dari proses pengukuran, dengan cara mengombinasikan pengaruh *bias* dan *repeatability* pada pengukuran *single part*. *Bias* disebut juga sebagai akurasi, yaitu ukuran jarak antara nilai rata-rata pengukuran dengan nilai standar. Saat pengukuran sudah tidak *bias*, kapabilitas proses pengukuran MSA tipe I dapat dinyatakan dengan persamaan 2.11 (Roth, 2013).

$$C_g = \frac{h(BSA - BSB)}{6.s_g} \quad (2.11)$$

Dimana nilai h menyatakan persentase toleransi adalah $h = \frac{c}{100}$ dimana $c = 2\sigma_g$ atau $c = 3\sigma_g$ dengan BSA dan BSB adalah batas spesifikasi atas dan batas spesifikasi bawah. s_g merupakan standar deviasi dari hasil pengukuran dan 6 merupakan *number of standar*

deviation yang digunakan sehingga nilai *study variation* $6.s_g$. Nilai 6 menjelaskan standar deviasi yang dibutuhkan untuk menjelaskan 99,73% dari pengukuran. Penggunaan nilai 6 dikarenakan proses pengukuran dalam keadaan terkendali, dimana 0,27% hasil pengukuran berada di luar batas kendali dan terjadi secara random. C_g hanya menyatakan kapabilitas potensial proses, sehingga perlu adanya parameter yang lebih baik untuk menyatakan kapabilitas suatu proses. Salah satu besaran lain yang sering digunakan adalah C_{gk} , yang dinyatakan dengan persamaan 2.12 berikut.

$$C_{gk} = \frac{(h(BSA - BSB) - |x_m - x_g|)}{3.s_g} \quad (2.12)$$

C_{gk} merupakan estimasi dari kapabilitas aktual, dimana h menyatakan toleransi yakni $h = \frac{c}{200}$. Bias dari pengukuran dapat dihitung dari selisih antara nilai rata-rata pengukuran (x_m) dengan nilai karakteristik atau *reference value* (x_g) yang diketahui (Roth, 2013).

2.1.2 Measurement System Analysis Tipe II

Measurement system analysis type II (MSA Tipe II) merupakan tipe MSA yang umum digunakan dalam dunia industri. *Measurement system* minimal terdiri dari beberapa komponen, seperti operator yang mengoperasikan alat ukur tersebut dan perbedaan hasil pengukuran saat alat ukur tersebut digunakan. MSA tipe II sering disebut dengan *gauge reproducibility and repeatability* atau *gauge R&R*. *Repeatability* adalah varian dari hasil pengukuran oleh operator dan alat yang sama, sedangkan *reproducibility* adalah varian dari hasil pengukuran oleh operator yang berbeda saat mengukur alat ukur yang sama (Montgomery, 2009).

Gauge repeatability dan *reproducibility* merupakan salah satu jenis *measurement system analysis* yang digunakan untuk

mengetahui akurasi dan presisi dari sistem pengukuran. Total varians dapat ditulis sebagai berikut.

$$\sigma_{Total}^2 = \sigma_{part}^2 + \sigma_{gauge}^2 \quad (2.13)$$

Dimana σ_{Total}^2 merupakan varians total, σ_{part}^2 merupakan varians *part*, sedangkan σ_{gauge}^2 merupakan variabilitas dari proses *measurement*.

Metode yang digunakan untuk memberikan informasi mengenai kondisi suatu sistem pengukuran apakah telah *acceptable* atau *capable*, dapat dilihat melalui 4 metode yaitu metode ANOVA (*Analysis of Variance*), *Ratio Precision-to-Tolerance* (P/T), *Ratio Signal-to-noise* (SNR), dan *Ratio Discrimination* (DR) (Montgomery, 2009).

1. Metode ANOVA (*Analysis of Variance*)

Variabilitas dari proses *measurement system* dapat ditulis sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$\sigma_{gauge}^2 = \sigma_{repeatabilty}^2 + \sigma_{reproducibility}^2 \quad (2.14)$$

Dimana σ_{gauge}^2 merupakan *variability* dari proses *measurement*, $\sigma_{repeatabilty}^2$ merupakan variasi *repeatabilty* dan $\sigma_{reproducibility}^2$ merupakan variasi dari *reproducibility*. *Repeatabilty* dan *reproducibility* dapat dituliskan sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$\sigma_{repeatabilty}^2 = \hat{\sigma}^2 = MS_E \quad (2.15)$$

$$\sigma_{reproducibility}^2 = \hat{\sigma}_O^2 + \hat{\sigma}_{PO}^2 = \hat{\sigma}_O^2 + \frac{MS_{PO} - MS_E}{n} \quad (2.16)$$

$$\hat{\sigma}_{PO}^2 = \frac{MS_{PO} - MS_E}{n} \quad (2.17)$$

$$\hat{\sigma}_O^2 = \frac{MS_O - MS_{PO}}{pn} \quad (2.18)$$

$$\hat{\sigma}_P^2 = \frac{MS_P - MS_{PO}}{on} \quad (2.19)$$

EV (*equipment variation*) yang sering disebut *repeatability* merupakan variasi dari nilai pengukuran dengan pengukuran yang sama untuk mengukur produk beberapa kali dengan kondisi yang sama dan *operator* yang sama, dimana secara matematis dapat ditulis sebagai berikut (AIAG, 2010).

$$EV = k\sqrt{MS_E} \quad (2.20)$$

AV (*Appraiser or Inspector Variation*) merupakan variasi dari nilai pengukuran dengan alat ukur yang sama namun *operator* yang berbeda yang disebut dengan *reproducibility*. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut (AIAG, 2010).

$$AV = k\sqrt{\frac{MS_O - MS_{OP}}{pn}} \quad (2.21)$$

PV (*Process Variation*) merupakan nilai pengukuran yang diperoleh dari pengukuran beberapa alat ukur yang diukur oleh *operator* yang sama, secara matematis ditulis sebagai berikut (AIAG, 2010).

$$PV = k\sqrt{\frac{MS_P - MS_{OP}}{on}} \quad (2.22)$$

IV (*Interaction Variation*) merupakan nilai rata-rata pengukuran dari alat ukur yang berbeda dengan *operator* yang berbeda, dimana secara matematis dapat ditulis sebagai berikut (AIAG, 2010).

$$IV = k\sqrt{\frac{MS_{OP} - MS_E}{n}} \quad (2.23)$$

Variasi *Gauge R&R* atau *Combined Gauge R&R* merupakan penjumlahan dari sumber-sumber variasi pada persamaan 2.20 sampai dengan 2.23 yang dituliskan sebagai berikut (AIAG, 2010).

$$GaugeR\&R = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (IV)^2} \quad (2.24)$$

Hasil dari *Gauge R&R* pada persamaan 2.24 digunakan untuk mengetahui *measurement system acceptable* melalui dua cara. Pertama menginterpretasikan hasil *gauge R&R* dengan menggunakan statistik uji sebagai berikut (Woodall & Borrer, 2008).

$$\%TotalGauger \& R = \left[\frac{\sqrt{(EV)^2 + (AV)^2 + (IV)^2}}{BSA - BSB} \right] \times 100\% \quad (2.25)$$

Dimana BSA dan BSB merupakan batas spesifikasi atas dan bawah dari alat ukur yang digunakan. Berikut ini adalah syarat yang digunakan untuk mengambil kesimpulan menurut AIAG (2010) dengan menggunakan nilai persentase *study varians*.

- a. Apabila *percent study varians* total *Gauge R&R* $\leq 10\%$ maka *measurement system acceptable*
- b. Apabila *percent study varians* $10\% < Gauge R\&R \leq 30\%$ maka *measurement system acceptable* dengan syarat tertentu.
- c. Apabila *percent study varians* total *Gauge R&R* $> 30\%$ maka *measurement system unacceptable* sehingga perlu dilakukan perbaikan.

Jika kesimpulan diambil dengan melihat dari persentase *contribution variation* standar pengambilan keputusan sebagai berikut.

- a. Apabila persentase *contribution variation Gauge R&R* $\leq 1\%$ maka *measurement system acceptable*.
- b. Apabila persentase *contribution variation* $1\% < Gauge R\&R \leq 9\%$ maka *measurement system acceptable* dengan syarat tertentu.
- c. Apabila persentase *contribution variation Gauge R&R* $> 9\%$ maka *measurement system unacceptable* sehingga diperlukan perbaikan.

Penggunaan persentase *study variation* atau persentase *contribution variation* untuk mengevaluasi suatu sistem

pengukuran bergantung pada tujuan dari analisis tersebut dilakukan. Jika sistem pengukuran digunakan untuk proses *improvement* (mengurangi variasi dari *part-to-part*), maka persentase *study variation* digunakan untuk mengestimasi presisi dari pengukuran. Jika sistem pengukuran digunakan untuk mengevaluasi kedekatan proses alat ukur dengan spesifikasi yang ditentukan, maka persentase *contribution variation* digunakan sebagai besaran yang tepat (AIAG, 2010).

Cara kedua untuk mengetahui *acceptable* atau tidaknya *measurement system* dengan menggunakan *number distinct categories* atau *classification ratio* yang ditulis secara matematis sebagai berikut.

$$ndc = \left[\frac{\hat{\sigma}_{part}}{\hat{\sigma}_{R\&R}} \right] \times 1,41 \quad (2.26)$$

Dimana *ndc* merupakan *Number of distinct categories*, $\hat{\sigma}_{part}$ merupakan taksiran standar deviasi dari *part*, sedangkan $\hat{\sigma}_{R\&R}$ merupakan taksiran standar deviasi dari *Gauge R&R*. *Measurement system* dikatakan *acceptable* apabila *number of distinct categories* lebih besar dari 5 (Woodall & Borror, 2008).

2. Rasio *Precision-to-tolerance* (P/T)

Precision-to-tolerance (P/T) *ratio* sering juga disebut sebagai rasio dari $k\hat{\sigma}_{Gauge}$ dengan batas toleransi. Ukuran ini biasa digunakan, namun tidak terlalu baik, untuk membandingkan estimasi dari kapabilitas alat ukur dengan batas spesifikasi yang ditentukan dari *part* yang diukur. *Precision-to-tolerance* (P/T) *ratio* secara matematis dinyatakan pada persamaan berikut (Montgomery, 2009).

$$P/T = \frac{6\hat{\sigma}_{Gauge}}{BSA - BSB} \quad (2.27)$$

BSA menyatakan batas spesifikasi atas dan BSB menyatakan batas spesifikasi bawah, sedangkan 6 menyatakan nilai dari standar deviasi dari batas toleransi suatu populasi yang mengikuti distribusi normal.

Nilai P/T menunjukkan 0,1 atau kurang memberikan kesimpulan bahwa hasil estimasi kapabilitas dari alat ukur cukup baik. Sebuah alat ukur harus *capable* dalam mengukur suatu proses dengan akurat dan presisi, sehingga analisis dari hasil pengukuran dapat memberikan kesimpulan yang tepat. Hal tersebut dapat diimplikasikan jika nilai $P/T \leq 0,1$.

3. *Signal-to-noise Ratio* (SNR)

Ukuran lain yang dapat digunakan untuk melihat kondisi suatu *measurement system* adalah *signal-to-noise ratio* (SNR). Secara matematis SNR dapat ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut (Montgomery, 2009).

$$SNR = \sqrt{\frac{2\hat{\rho}_{part}}{1 - \hat{\rho}_{part}}} \quad (2.28)$$

Dimana $\hat{\rho}_{Part} = \frac{\hat{\sigma}_{Part}^2}{\hat{\sigma}_{Total}^2}$. Nilai $\hat{\sigma}_{Part}^2$ dan $\hat{\sigma}_{Total}^2$ diperoleh dari hasil

Tabel 2.1. SNR menunjukkan nilai dari perbedaan level atau kategori yang diperoleh dari pengukuran. Nilai yang direkomendasikan adalah 5 atau lebih ($SNR \geq 5$) dan nilai SNR yang kurang dari 2 ($SNR \leq 2$) mengindikasikan bahwa alat ukur kurang *capable*.

4. *Discrimination Ratio* (DR)

Estimasi terhadap kapabilitas alat ukur dapat menggunakan ukuran *Discrimination Ratio* (DR). Secara matematis DR dinyatakan pada persamaan berikut (Woodall & Borror, 2007).

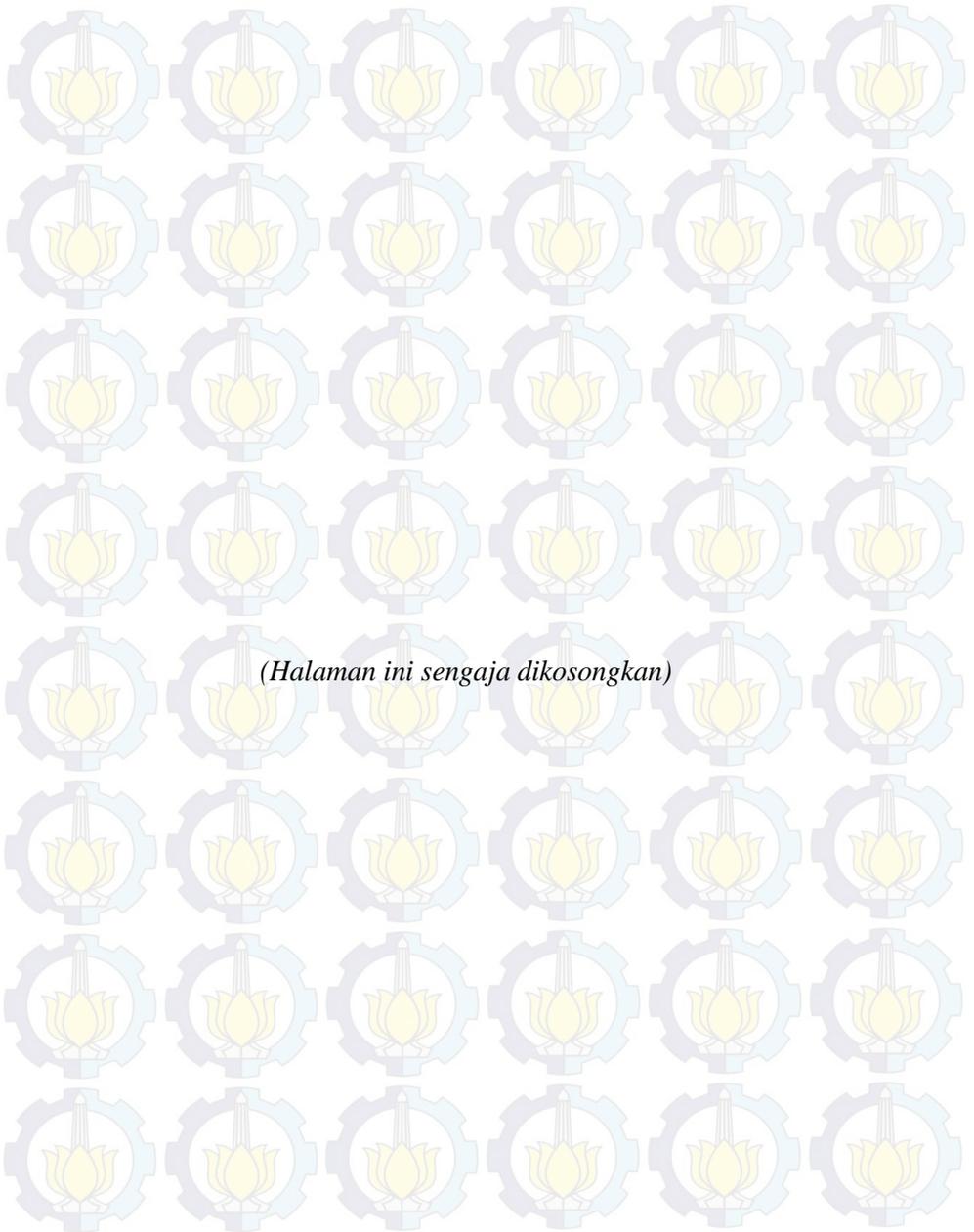
$$DR = \sqrt{\frac{1 + \hat{\rho}_{part}}{1 - \hat{\rho}_{part}}} \quad (2.29)$$

Dimana $\hat{\rho}_{Part} = \frac{\hat{\sigma}_{Part}^2}{\hat{\sigma}_{Total}^2}$. Nilai $\hat{\sigma}_{Part}^2$ dan $\hat{\sigma}_{Total}^2$ diperoleh dari hasil

Tabel 2.1. Suatu alat ukur dinyatakan *capable* apabila nilai DR lebih besar dari 4 ($DR > 4$).

2.3 Proses *Tube Sealing*

Proses *Tube Sealing* adalah proses dalam pengemasan produk pasta gigi dengan cara pemberian udara panas. Udara panas diberikan pada dinding bagian atas *tube* yang telah diisi pasta untuk melekatkan bagian ujung *tube*, agar isi pasta terjamin tidak keluar dari *tube*. Udara panas dihasilkan oleh *Tube Sealer* yang kemudian temperaturnya dapat diukur menggunakan *Hot Air*. Oleh karena *tube sealer* hanya berfungsi untuk mengeluarkan udara panas saja, maka parameter baik atau tidaknya *tube sealer* dapat dilihat dari sistem pengukuran temperatur oleh *Hot Air*. Jika sistem pengukuran temperatur oleh *Hot Air* telah kapabel maka *tube sealer* dapat dikatakan baik. Pada *Line D11* terdapat 5 unit *Hot Air* yaitu *Hot Air channel 1* sampai dengan *channel 5*. *Hot Air* memiliki batas spesifikasi sebesar $270^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. Respon yang diamati dalam penelitian ini adalah temperatur udara panas yang dihasilkan dari *Tube Sealer*. Temperatur udara panas terukur setiap detiknya saat ada *tube* yang dipanaskan, hasil pengukuran temperatur udara panas yang dihasilkan dari masing-masing *Hot Air* akan muncul pada layar *display channel*. *Hot Air* dioperasikan dengan *operator* yang berperan untuk kalibrasi alat dengan *setting Hot Air* dan membersihkan *Hot Air* di awal *shift*.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Eksperimen

Rancangan eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan percobaan faktorial dua faktor, yang terdiri dari dua faktor yaitu faktor *Hot Air* dan *operator*. Unit eksperimen dalam penelitian ini adalah *tube* yang telah diisi pasta gigi. Respon yang diamati adalah temperatur udara panas yang dihasilkan dari *Tube Sealer*. *Tube Sealer* berfungsi untuk mengeluarkan udara panas pada *tube* berisi pasta. Udara panas dari *Tube Sealer* dapat diukur menggunakan *Hot Air*. Pada *Line D11* terdapat 5 *Hot Air* yaitu *Hot Air 1* sampai dengan *Hot Air 5*. Usia masing-masing *Hot Air* tidak sama, sehingga antar level *Hot Air* memiliki usia mesin yang berbeda. Berikut ini merupakan keterangan dari *Hot Air* yang digunakan.

Tabel 3.1 Faktor *Hot Air*

Faktor <i>Hot Air</i>	Batas Spesifikasi	Satuan	Usia Pakai Mesin
<i>Hot Air 1</i>	270 ± 10	<i>Celcius</i>	± 3 Tahun
<i>Hot Air 2</i>	270 ± 10	<i>Celcius</i>	± 2 Tahun
<i>Hot Air 3</i>	255 ± 5	<i>Celcius</i>	± 5 Tahun
<i>Hot Air 4</i>	270 ± 10	<i>Celcius</i>	± 2,5 Tahun
<i>Hot Air 5</i>	270 ± 10	<i>Celcius</i>	± 1,5 Tahun

Faktor yang kedua adalah *operator*, terdapat 3 *operator* dimana antar *operator* diasumsikan memiliki kemampuan yang sama karena telah mendapatkan *training* dari perusahaan. Namun diduga antar *operator* memiliki perbedaan teknik dalam membersihkan *Tube Sealer* yang sangat mempengaruhi temperatur dari *Tube Sealer* tersebut. Berikut merupakan keterangan dari *operator* yang beroperasi pada proses *Tube Sealing*.

Tabel 3.2 Faktor *Operator*

Faktor <i>Operator</i>	Nama <i>Operator</i>
<i>Operator 1</i>	Pak Arie
<i>Operator 2</i>	Pak Yasin
<i>Operator 3</i>	Pak Mukti

Penelitian dilakukan selama tiga minggu, yakni dari tanggal 03 Agustus 2015 sampai dengan 22 Agustus 2015 pada proses produksi pasta gigi *Line D11* di PT X. *Operator* 1, 2, dan 3 mengukur 5 *Hot Air* yang sama, pengukuran dilakukan berulang sebanyak 12 kali, sehingga didapatkan 180 pengamatan. Struktur data penelitian dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3.3 Struktur Data

<i>Hot Air</i>	<i>Operator</i>		
	<i>Operator 1</i>	<i>Operator 2</i>	<i>Operator 3</i>
<i>Hot Air 1</i>	$y_{111}, y_{112}, \dots, y_{1112}$	$y_{121}, y_{122}, \dots, y_{1212}$	$y_{131}, y_{132}, \dots, y_{1312}$
<i>Hot Air 2</i>	$y_{211}, y_{212}, \dots, y_{2112}$	$y_{221}, y_{222}, \dots, y_{2212}$	$y_{231}, y_{232}, \dots, y_{2312}$
<i>Hot Air 3</i>	$y_{311}, y_{312}, \dots, y_{3112}$	$y_{321}, y_{322}, \dots, y_{3212}$	$y_{331}, y_{332}, \dots, y_{3312}$
<i>Hot Air 4</i>	$y_{411}, y_{412}, \dots, y_{4112}$	$y_{421}, y_{422}, \dots, y_{4212}$	$y_{431}, y_{432}, \dots, y_{4312}$
<i>Hot Air 5</i>	$y_{511}, y_{512}, \dots, y_{5112}$	$y_{521}, y_{522}, \dots, y_{5212}$	$y_{531}, y_{532}, \dots, y_{5312}$

Struktur data pada Tabel 3.3 menjelaskan bahwa y_{ijk} merupakan hasil pengukuran temperatur dari faktor *Hot Air* level ke- j , *operator* level ke- i , dan pengulangan ke- k . Dalam penelitian ini terdapat 5 unit *Hot Air* dimana $i=1,2,3,4,5$ dan 3 *operator* dimana $j=1,2,3$. Setiap *Hot Air* diukur berulang sebanyak 12 kali sehingga $k=1,2,3,\dots,12$.

Dalam penelitian ini ANOVA digunakan untuk mencari nilai Kuadrat Tengah Galat (*Mean Square Error*) untuk perhitungan nilai komponen *Gauge R&R* pada *Measurement System Analysis*. Jika dalam ANOVA didapatkan faktor yang signifikan, maka dilakukan uji perbandingan berganda untuk mengetahui taraf faktor yang menyebabkan pengaruh berbeda terhadap respon. Setelah itu, dilakukan ANOVA lagi tanpa mengikutsertakan taraf faktor yang signifikan tersebut, untuk membuktikan apakah benar bahwa taraf faktor tersebut yang memberikan pengaruh berbeda terhadap respon. Apabila ANOVA selanjutnya tidak ada lagi faktor yang signifikan maka dapat dibuktikan bahwa taraf faktor yang tersisa memberikan pengaruh yang sama terhadap respon. Selain itu, pembuktian ini juga

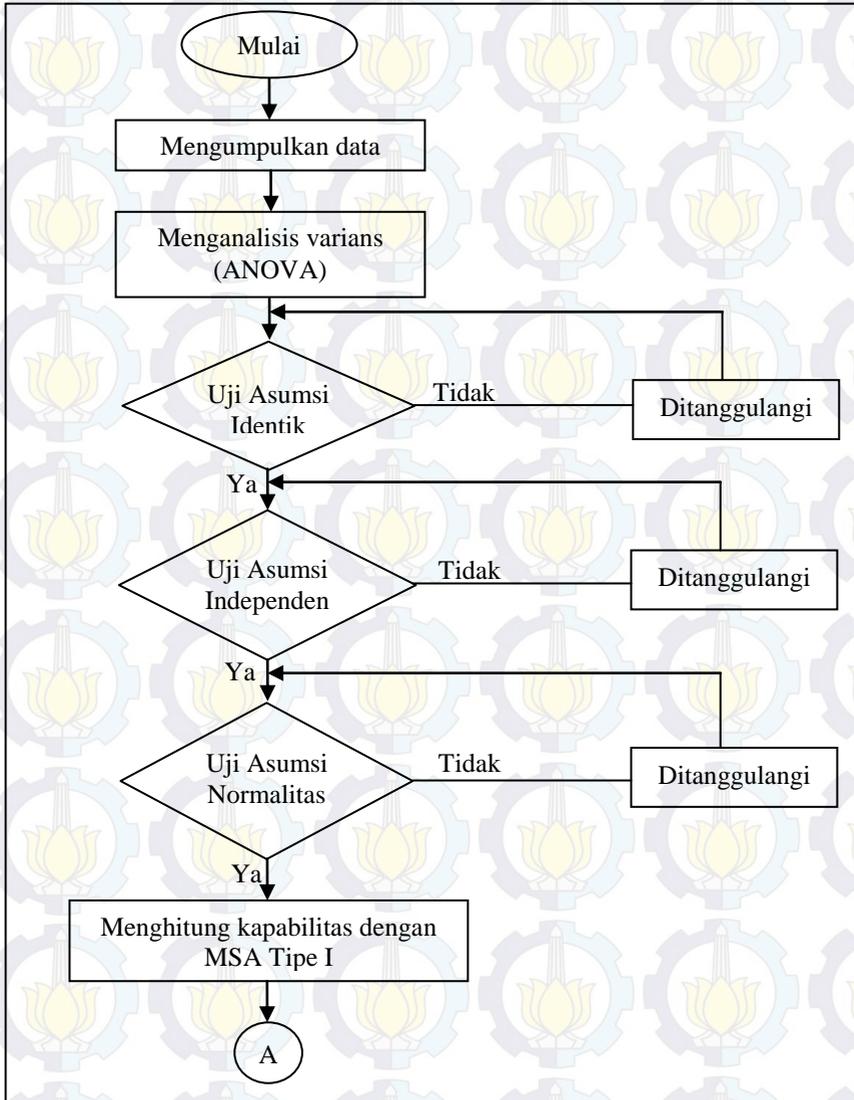
memperkuat hasil *Measurement System Analysis* bahwa alat ukur yang tidak kapabel adalah faktor yang signifikan.

3.2 Langkah Analisis

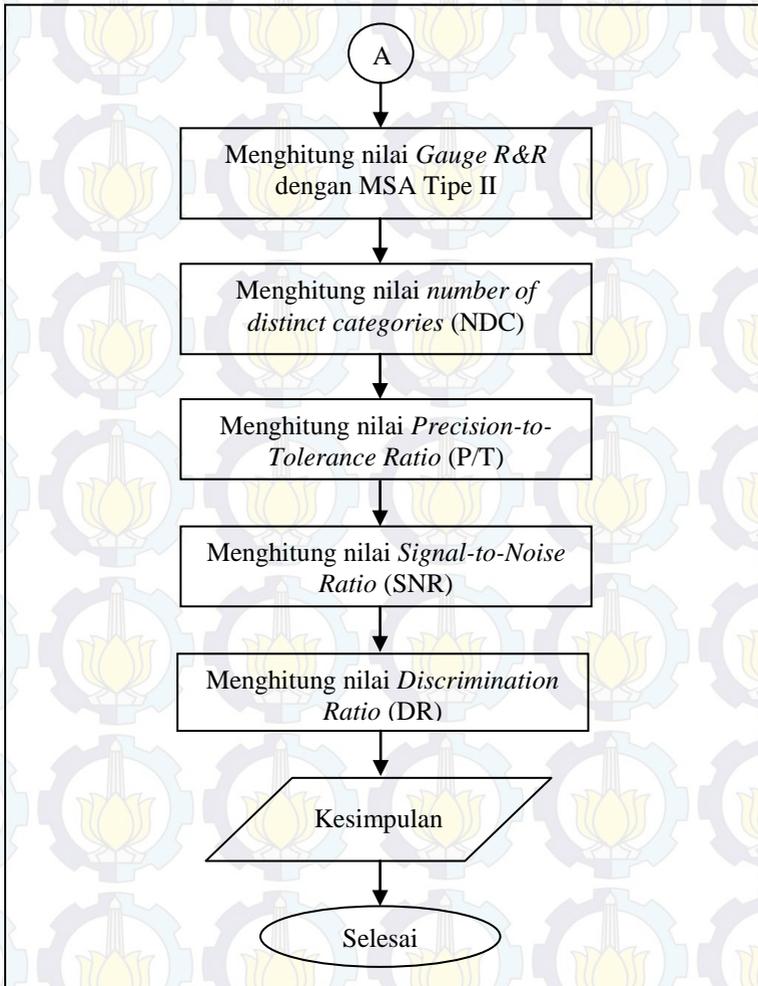
Langkah-langkah yang dilakukan pada analisis ini adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data temperatur dari proses *Tube Sealing*.
2. Menguji faktor yang berpengaruh terhadap hasil sistem pengukuran menggunakan ANOVA (*Analysis of Variance*).
3. Memeriksa dan menguji residual IIDN (Identik, Independen, dan Distribusi Normal).
 - a. Menguji asumsi residual identik menggunakan uji *Glejser*
 - b. Menguji asumsi residual independen menggunakan uji *Durbin Watson*
 - c. Menguji asumsi residual distribusi normal menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov*.
4. Jika residual tidak memenuhi asumsi IIDN maka dilakukan transformasi pada data. Kemudian melakukan ANOVA dari hasil transformasi data dan menguji residual IIDN.
5. Menghitung kapabilitas dari masing-masing alat ukur dengan *Measurement System Analysis* Tipe I.
6. Menganalisis sistem pengukuran temperatur menggunakan *Measurement System Analysis* Tipe II (*Gauge R&R*).
 - a. Menghitung persentase nilai *Gauge R&R*
 - b. Menghitung *Number of Distinct Categories* (NDC).
 - c. Menghitung nilai *Precision-to-Tolerance Ratio* (P/T)
 - d. Menghitung nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)
 - e. Menghitung nilai *Discrimination Ratio* (DR)
7. Menarik kesimpulan dan saran.

Langkah analisis dapat digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram Alir (Lanjutan)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 ANOVA Temperatur *Hot Air*

Measurement System Analysis memiliki dua pendekatan untuk mengetahui kapabilitas suatu sistem pengukuran, yaitu melalui metode ANOVA (*Analysis of Variance*) dan peta $\bar{X} - R$. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode ANOVA sehingga dilakukan analisis varian sebelum melanjutkan ke tahap *Measurement System Analysis*.

ANOVA (*Analysis of Variance*) digunakan untuk mengetahui faktor apa yang berpengaruh terhadap sistem pengukuran temperatur pada proses *Tube Sealing* dan interaksi antar faktor. Rancangan percobaan yang digunakan adalah faktorial dua faktor dengan temperatur udara panas sebagai respon yang diamati. Hasil pengukuran dari respon tersebut diduga dipengaruhi oleh dua faktor. Faktor pertama yaitu faktor alat ukur, yaitu *Hot Air* dimana terdapat 5 *Hot Air*. Faktor kedua adalah *operator* yang mengoperasikannya terdapat 3 *operator*, dengan menggunakan hipotesis pada subbab 2.1 maka didapatkan hasil ANOVA sebagai berikut.

Tabel 4.1 ANOVA Temperatur *Hot Air*

Sumber	db	JK	KT	F	P-value
<i>Hot Air</i>	4	7892,09	1973,02	307,9	0,000*
<i>Operator</i>	2	20,84	10,42	1,63	0,200
<i>Hot Air*Operator</i>	8	115,04	14,38	2,24	0,027*
Galat	165	1057,33	6,41		
Total	179	9085,31			

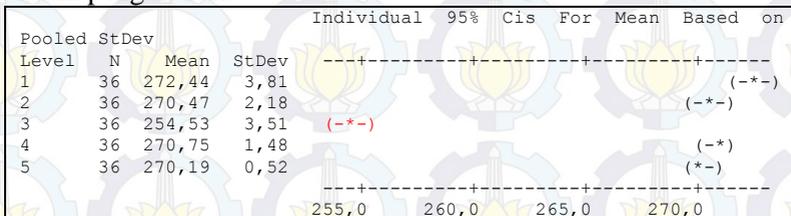
(*) Signifikan pada alpha 5%

Berdasarkan hasil ANOVA pada Tabel 4.1 diperoleh P-value pada faktor *Hot Air* sebesar 0,000 dan untuk interaksi faktor *Hot Air* dan *Operator* sebesar 0,027. Pada taraf signifikan sebesar 0,05 maka dapat diputuskan tolak H_0 karena kedua P-value tersebut lebih kecil dari 0,05. Sedangkan P-value yang dihasilkan dari faktor *operator* lebih besar dari taraf signifikan. Oleh karena

itu, dapat disimpulkan bahwa faktor *Hot Air* berpengaruh signifikan terhadap sistem pengukuran dan interaksi antara *Hot Air* dan *operator* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil sistem pengukuran. Faktor *Hot Air* memberikan pengaruh yang signifikan mengindikasikan bahwa hasil pengukuran oleh masing-masing *Hot Air* tidak sama atau tidak homogen. Sedangkan faktor *operator* tidak berpengaruh terhadap hasil sistem pengukuran. Interaksi antara faktor *Hot Air* dan *operator* signifikan memberikan arti bahwa perilaku *operator* terhadap masing-masing *Hot Air* berbeda. Hasil pengukuran yang dihasilkan oleh *operator* terhadap masing-masing *Hot Air* tidak sama, sehingga didapatkan interaksi yang signifikan.

Berdasarkan Lampiran 2 mengenai grafik pengujian berganda didapatkan bahwa *Hot Air* 1, 2, 4, dan *Hot Air* 5 berada dalam interval satu selang, dimana masing-masing *Hot Air* tersebut memiliki angka 0 dalam selangnya. Sedangkan selang interval *Hot Air* 3 berpotongan jauh dengan *Hot Air* lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa *Hot Air* 3 memberikan pengaruh berbeda terhadap hasil sistem pengukuran yang menyebabkan faktor *Hot Air* pada ANOVA signifikan. Variasi antar taraf dalam satu faktor (*within variance*) yakni varian dari *Hot Air* 1, 2, 3, 4, dan 5 tidak sama. Varian terbesar ditimbulkan oleh pengukuran *Hot Air* 3. Sehingga pada uji perbandingan berganda didapatkan bahwa *Hot Air* 3 menghasilkan pengukuran yang berbeda dengan *Hot Air* lainnya.

Berikut ini merupakan grafik *confidence interval* pada faktor *Hot Air*, yang memberikan pengaruh signifikan terhadap sistem pengukuran.



Gambar 4.1 Selang Interval Faktor *Hot Air*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa *Hot Air 3* memiliki karakteristik yang berbeda dengan *Hot Air* lainnya. Secara visual dapat dilihat bahwa pada *Hot Air 3*, bintang yang ada pada tengah-tengah garis tidak berhimpit dan tidak sejajar dengan garis yang membentang pada *Hot Air* lainnya, bahkan selang interval *Hot Air 3* berada jauh di antara *Hot Air* lainnya. Rata-rata hasil pengukuran temperatur oleh *Hot Air 3* paling rendah dibandingkan dengan *Hot Air 1, 2, 4, dan 5*. Hal ini disebabkan oleh *standard setting* temperatur pada *Hot Air 3* berbeda dengan *Hot Air* lainnya, yakni 255°C . Sedangkan *Hot Air 1, 2, 4, dan 5* memiliki *standard setting* sebesar 270°C , sehingga temperatur yang dihasilkan tidak jauh berbeda dari *standard setting* yang telah ditentukan. *Hot Air 3* selain memiliki *standard setting* temperatur yang paling rendah juga memiliki rentang toleransi yang tidak selebar *Hot Air* lainnya, yakni hanya $\pm 5^{\circ}\text{C}$ sedangkan *Hot Air* lainnya memiliki toleransi $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Karakteristik *Hot Air 3* paling sensitif dibandingkan dengan *Hot Air* lainnya, yang dibuktikan dengan hasil *sealing tube* pasta gigi. Jika temperatur yang dihasilkan terlalu panas maka hasil *sealing* akan keriput, sedangkan jika lebih kecil dari *standard setting* maka *tube* tidak dapat *ter-seal* dengan rapat sehingga pasta gigi bocor. Cacat terbesar yang disebabkan karena kebocoran pasta keluar dari *tube* dihasilkan oleh *Hot Air 3*. Sehingga dilanjutkan dengan menganalisis varian (*Analysis of Variance*) tanpa mengikutsertakan *Hot Air 3* sebagai berikut.

Tabel 4.2 ANOVA Tanpa *Hot Air 3*

Sumber	db	JK	KT	F	P-value
<i>Hot Air</i>	3	110,576	36,859	6,56	0,000*
<i>Operator</i>	2	1,764	0,882	0,16	0,855
<i>Hot Air*Operator</i>	8	18,736	3,123	0,56	0,765
Galat	132	741,75	5,619		
Total	143	872,826			

(*) Signifikan pada alpha 5%

ANOVA (*Analysis of Variance*) pada Tabel 4.2 menggunakan faktor *Hot Air* yaitu 4 *Hot Air* yakni *Hot Air 1, 2, 4, dan 5* tanpa mengikutsertakan *Hot Air 3* dan tetap

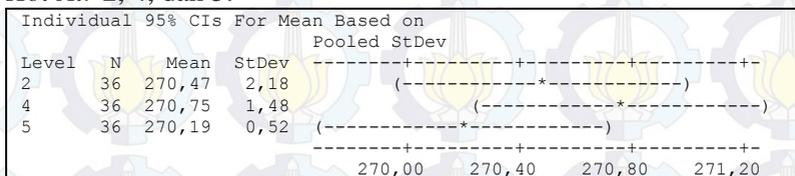
lainnya sehingga ketiga *Hot Air* tersebut memiliki karakteristik yang sama yaitu temperatur yang dihasilkan berada pada 270°C . Sedangkan temperatur yang dihasilkan dari pengukuran *Hot Air* 1 lebih tinggi dibandingkan ketiga *Hot Air* lainnya yaitu $272,44^{\circ}\text{C}$ sehingga selang interval yang dihasilkan pun bergeser ke kanan.

Berikut ini merupakan ANOVA (*Analysis of Variance*) tanpa mengikutsertakan *Hot Air* 1 dan *Hot Air* 3 yang mengindikasikan bahwa kedua *Hot Air* tersebut yang menyebabkan faktor *Hot Air* signifikan. Faktor yang digunakan berikut ini adalah *Hot Air* 2, 4, dan 5 serta 3 *operator*.

Tabel 4.3 ANOVA Tanpa *Hot Air* 1 dan 3

Sumber	db	JK	KT	F	P-value
<i>Hot Air</i>	2	5,556	2,778	1,13	0,327
<i>Operator</i>	2	0,167	0,083	0,03	0,967
<i>Hot Air*Operator</i>	4	9,611	2,403	0,98	0,424
Galat	99	243,583	2,460		
Total	107	258,917			

Pada ANOVA Tabel 4.3 tidak didapatkan faktor yang signifikan. Faktor *Hot Air*, *operator*, dan interaksi antara kedua faktor tidak lagi signifikan seperti hasil ANOVA sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan hasil pengukuran oleh masing-masing *Hot Air* serta tidak ada pula perbedaan hasil pengukuran yang dilakukan oleh masing-masing *operator*. Variasi yang ditimbulkan dari pengukuran masing-masing *Hot Air* kecil sehingga faktor *Hot Air* tidak signifikan. Begitu pula variasi yang ditimbulkan oleh masing-masing *operator* juga kecil. Berikut dapat dilihat selang interval dari hasil pengukuran oleh *Hot Air* 2, 4, dan 5.



Gambar 4.3 Selang Interval Faktor *Hot Air* Tanpa *Hot Air* 1 dan 3

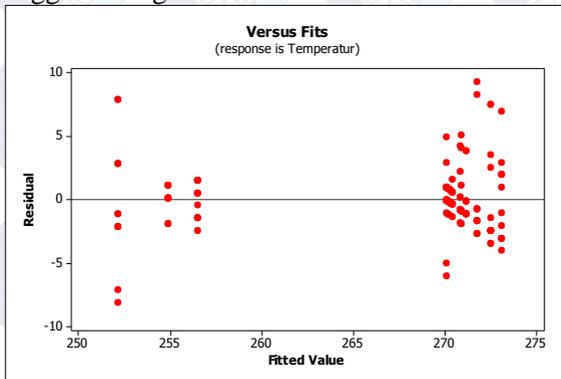
Selang interval pada *Hot Air* 2, 4, dan 5 saling beririsan antara satu sama lain. Demikian didapatkan bahwa *Hot Air* 2, 4, dan 5 menghasilkan pengukuran yang konsisten, ditunjukkan oleh rata-rata hasil pengukuran yang sama antar masing-masing *Hot Air*.

4.1.1 Asumsi Residual IIDN

Asumsi yang mendasari ANOVA (*Analysis of Variance*) adalah residual identik dalam varian (homogenitas varian), residual independen, dan residual mengikuti fungsi distribusi normal. Oleh karena ANOVA pada subbab sebelumnya dilakukan sebanyak 3 kali, maka terdapat 3 analisis asumsi residual IIDN (Identik, Independen, dan Distribusi Normal).

a. Asumsi Residual IIDN ANOVA pada Semua Faktor

ANOVA yang dilakukan pada awal analisis melibatkan keseluruhan faktor, faktor *Hot Air* yaitu *Hot Air* 1, 2, 3, 4, dan 5 serta ketiga *operator*. Pemeriksaan asumsi residual identik dapat dilihat menggunakan gambar berikut ini.



Gambar 4.4 Pemeriksaan Asumsi Identik

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa plot menyebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu, namun plot-plot bergerombol di bagian kanan dan kiri sehingga dapat disimpulkan bahwa secara visual residual tidak memenuhi asumsi identik. Setelah dilakukan pemeriksaan secara visual maka dilakukan uji *Glejser* untuk membuktikan apakah benar residual

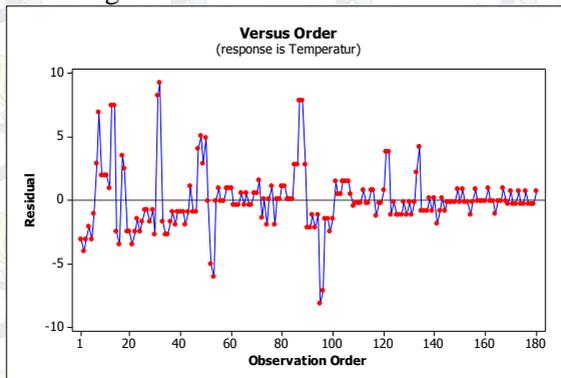
tidak memenuhi asumsi identik. Pada taraf signifikan sebesar 0,05 dihasilkan analisis sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Asumsi Identik

Sumber	db	JK	KT	F	P-value
<i>Hot Air</i>	4	149,095	37,274	16,57	0,000
<i>Operator</i>	2	37,345	18,672	8,3	0,000
<i>Hot Air*Operator</i>	8	59,953	7,494	3,33	0,001
Galat	165	371,227	2,25		
Total	179	617,62			

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa P-value yang diperoleh sebesar 0,000 lebih kecil dari 0,05, maka dapat diputuskan tolak H_0 yang berarti residual tidak memenuhi asumsi identik.

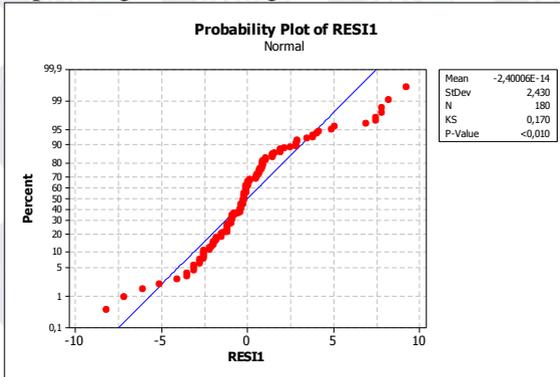
Pemeriksaan residual independen secara visual dapat ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 4.5 Pemeriksaan Asumsi Independen

Secara visual residual dikatakan telah memenuhi asumsi independen, sebab plot-plot yang terhubung pada Gambar 4.5 tidak membentuk pola tertentu, sehingga secara visual residual telah memenuhi asumsi independen. Namun statistik uji yang didapatkan dari pengujian *Durbin Watson* sebesar 1,12901 lebih kecil dari d_L (1,63). Pengujian ini menghasilkan bahwa residual tidak memenuhi asumsi independen.

Pemeriksaan asumsi residual distribusi normal digunakan untuk mengetahui apakah residual menyebar secara normal secara visual, didapatkan gambar sebagai berikut.



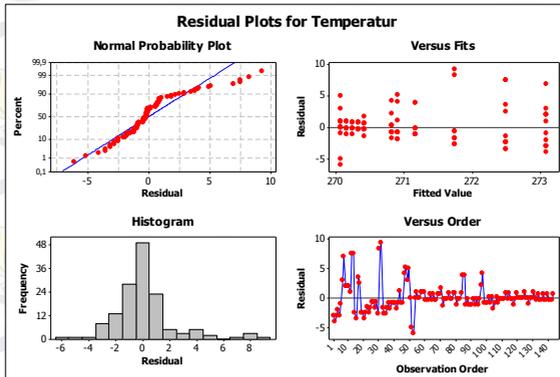
Gambar 4.6 Pemeriksaan Asumsi Distribusi Normal

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa secara visual plot mengikuti garis distribusi normal dan probabilitas dari masing-masing residual mendekati garis biru yang merupakan probabilitas dari distribusi normal. Namun terdapat plot yang *outlier* yaitu pada bagian bawah dan bagian atas garis linier. Secara visual dikatakan bahwa residual tidak memenuhi asumsi distribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji *Kolmogorov-Smirnov* untuk membuktikan kebenaran asumsi residual distribusi normal. Statistik uji yang dihasilkan dari uji *Kolmogorov-Smirnov* adalah 0,17 yang lebih besar dari D_{tabel} yakni 0,0909. Pada taraf signifikan sebesar 0,05 dapat diputuskan tolak H_0 karena *P-value* sebesar 0,010 lebih kecil dari taraf signifikan sehingga residual tidak berdistribusi normal.

Pada ANOVA yang melibatkan keseluruhan faktor yaitu *Hot Air 1* sampai dengan 5 dan ketiga *operator* tidak didapatkan asumsi yang terpenuhi, sehingga tidak memenuhi asumsi residual IIDN (Identik, Independen, dan Distribusi Normal).

b. Asumsi Residual IIDN ANOVA Tanpa *Hot Air 3*

Pemeriksaan asumsi residual IIDN selanjutnya berdasarkan hasil ANOVA yang menggunakan *Hot Air 1, 2, 4, dan 5* serta ketiga *operator*.



Gambar 4.7 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN Tanpa *Hot Air 3*

Berdasarkan Gambar 4.7 untuk pemeriksaan asumsi residual identik dapat dilihat bahwa secara visual memenuhi asumsi identik. Plot pada *versus fits* menyebar acak dan tidak bergerombol pada bagian tertentu. Hal ini dibuktikan dengan uji *Glejser* pada Lampiran 6 bahwa *P-value* yang dihasilkan kurang dari taraf signifikan (0,05), sehingga ANOVA tanpa *Hot Air 3* tidak memenuhi asumsi identik.

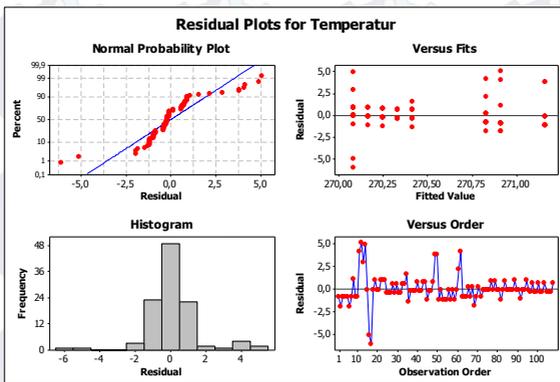
Pada pemeriksaan asumsi residual independen dapat dilihat pada gambar berjudul *versus order*. Secara visual pola yang terbentuk acak dan tidak mengikuti pola tertentu, sehingga dapat dikatakan ANOVA tanpa *Hot Air 3* memenuhi asumsi independen. Hasil uji *Durbin Watson* menunjukkan nilai sebesar 1,01199 yang lebih kecil dari d_L (1,63) sehingga residual tidak memenuhi asumsi independen.

Pada gambar *normal probability plot* mengenai asumsi normalitas, dapat dilihat bahwa secara visual plot mengikuti garis linier normalitas. Statistik uji *Kolmogorov-Smirnov* yang dihasilkan yaitu 0,198 lebih besar daripada uji *Kolmogorov-Smirnov* pada ANOVA sebelumnya, yaitu 0,17. *P-value* yang

didapatkan dari uji *Kolmogorov-Smirnov* pada Lampiran 7 adalah 0,01 sehingga tidak memenuhi asumsi residual berdistribusi normal. Demikian dapat diketahui bahwa tanpa mengikutsertakan *Hot Air 3* pada ANOVA didapatkan residual yang lebih normal, sehingga lebih mendekati asumsi normalitas.

c. Asumsi Residual IIDN ANOVA Tanpa *Hot Air 1* dan *3*

Pemeriksaan asumsi residual IIDN berikutnya berdasarkan hasil ANOVA yang menggunakan *Hot Air 2, 4, dan 5* serta ketiga operator.



Gambar 4.8 Pemeriksaan Asumsi Residual IIDN Tanpa *Hot Air 1* dan *3*

Pemeriksaan asumsi residual identik dapat dilihat pada Gambar 4.8 bahwa secara visual memenuhi asumsi identik. Plot pada *versus fits* menyebar acak dan tidak bergerombol pada bagian tertentu. Uji *Glejser* pada Lampiran 8 menghasilkan bahwa ANOVA tanpa *Hot Air 1* dan *3* tidak memenuhi asumsi identik, karena *P-value* kurang dari taraf signifikan (0,05).

Pemeriksaan asumsi residual independen terpenuhi pada ANOVA tanpa melibatkan faktor *Hot Air 1* dan *3*. Hal ini terlihat bahwa secara visual pola yang terbentuk acak dan tidak membentuk pola tertentu. Statistik uji Durbin-Watson menunjukkan nilai sebesar 1,08210 yang lebih kecil dari d_L (1,63) sehingga residual tidak memenuhi asumsi independen.

Asumsi normalitas tidak terpenuhi pada ANOVA tanpa melibatkan *Hot Air 1* dan *3*. Namun didapatkan statistik uji

Kolmogorov-Smirnov yang lebih besar daripada analisis varian (ANOVA) sebelumnya, yaitu 0,207. *P-value* yang dihasilkan pada Lampiran 9 sebesar 0,01 lebih kecil dari taraf signifikan (0,05). Jadi tanpa melibatkan faktor *Hot Air* 1 dan 3 didapatkan residual yang lebih mendekati distribusi normal. Pada pemeriksaan residual ANOVA tanpa melibatkan faktor *Hot Air* 1 dan 3, didapatkan bahwa residual identik dalam varian dan residual independen namun tidak memenuhi asumsi distribusi normal.

Pada penelitian ini, tidak didapatkan residual yang identik, residual tidak independen, dan residual tidak berdistribusi normal. Dalam menangani asumsi normalitas, telah dilakukan transformasi seperti transformasi log, ln, pangkat, dan box-cox namun tidak didapatkan data yang berdistribusi normal. Kemudian dilakukan percobaan dengan membangkitkan data dari distribusi normal. Data hasil pembangkitan dibulatkan hingga tidak ada angka di belakang koma. Jika dibandingkan, data hasil pembangkitan dengan data temperatur pada penelitian ini tidak jauh berbeda karakteristiknya, datanya berkisar pada rentang jarak yang tidak begitu jauh. Kemudian dilakukan percobaan jika data temperatur pada penelitian ini ditambah tiga *digit* angka di belakang koma, seperti data hasil pembangkitan distribusi normal. Setelah itu dibandingkan keduanya, dan didapatkan bahwa data temperatur berdistribusi normal dengan penambahan tiga *digit* angka di belakang koma. Demikian dapat disimpulkan bahwa data temperatur pada penelitian ini berasal dari distribusi normal.

4.2 Measurement System Analysis

Measurement System Analysis merupakan metode yang digunakan untuk memvalidasi suatu sistem pengukuran, apakah sistem pengukuran telah mampu mengukur secara presisi dan akurat. Validasi dilakukan terhadap alat ukur yaitu *Hot Air*, apakah sudah sesuai (*acceptable*) untuk mengukur temperatur yang dihasilkan. Selain itu, validasi juga dilakukan terhadap *operator* yang mengoperasikan alat ukur, apakah telah mampu

memberikan hasil pengukuran yang sesuai (*acceptable*). Dalam tahap ini juga dapat diketahui kapabilitas proses dari suatu sistem pengukuran, sehingga nantinya dapat memberikan hasil pengukuran yang kapabel (*capable*). Sebuah sistem pengukuran dikatakan *acceptable* apabila alat ukur mampu memberikan hasil pengukuran yang konsisten (*reproducibility*) dan *operator* yang sama mampu menghasilkan pengukuran dengan variasi rendah dalam beberapa kali pengulangan (*repeatability*).

4.2.1 MSA Tipe I pada Temperatur *Hot Air*

Measurement System Analysis Tipe I digunakan sebagai alat evaluasi terhadap kapabilitas suatu sistem pengukuran dengan cara mengombinasikan pengaruh *bias* dan *repeatability* pada pengukuran temperatur *Hot Air*. Analisis ini membutuhkan *reference value* yang merupakan nilai standar pengukuran yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Hasil *Measurement System Analysis* Tipe I dapat dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 4.5 MSA Tipe I

Sumber	Nilai
<i>C_g</i>	0,09
<i>C_{gk}</i>	-0,02
<i>Bias</i>	-2,32
<i>(P-Value)</i>	0,000
<i>Tolerance</i> (°C)	20
<i>Reference</i> (°C)	270

Nilai toleransi yang dipengaruhi oleh variasi sistem pengukuran ditunjukkan oleh nilai besaran *C_g* didapatkan dari Persamaan (2.11), sedangkan nilai toleransi yang dipengaruhi oleh variasi sistem pengukuran dan *bias* ditunjukkan oleh nilai *C_{gk}* yang didapatkan dari Persamaan (2.12). Nilai *C_g* dan *C_{gk}* dari hasil sistem pengukuran menunjukkan nilai yang lebih kecil dari 1,33. Nilai ini mengidentifikasi bahwa variasi dari sistem pengukuran cukup besar jika dibandingkan dengan *range* dari toleransi. Hal ini mengindikasikan bahwa alat ukur *Hot Air* belum mampu mengukur secara presisi dan akurat. Hasil pengukuran yang dihasilkan pada masing-masing *Hot Air* beragam, memiliki

jarak yang jauh antara satu pengamatan dengan lainnya. Selain itu, pengukuran oleh *Hot Air* belum dapat menghasilkan pengukuran yang mendekati target yakni *standard setting Hot Air*. Hasil ini mengindikasikan bahwa setiap *part* alat ukur tidak dapat mengukur secara konsisten dan akurat sehingga diperlukan perbaikan pada *Hot Air*.

Bias atau tidaknya sistem pengukuran dapat dilihat dari *P-value* yang dihasilkan pada Tabel 4.5. Diperoleh nilai *P-value* dari *bias* sebesar 0,000 yang kurang dari taraf signifikan 0,05. Hasil tersebut memberikan kesimpulan bahwa terdapat *bias* dalam sistem pengukuran temperatur *Hot Air*. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara rata-rata dari seluruh pengukuran dengan nilai *standard setting temperatur Hot Air*. Ditunjukkan pula pada Lampiran 10, terdapat *plot* pada *Run Chart* yang keluar dari batas toleransi *reference value*, sehingga terdapat perbedaan rata-rata hasil pengukuran dengan *reference value*.

Oleh karena hasil *Measurement System Analysis* Tipe I mengindikasikan bahwa *Hot Air* belum mampu menghasilkan pengukuran yang konsisten dan akurat, maka dicari kapabilitas dari masing-masing *Hot Air*. Kapabilitas ini digunakan untuk mengetahui *Hot Air* manakah yang paling tidak kapabel dan tidak menghasilkan pengukuran yang konsisten dan akurat.

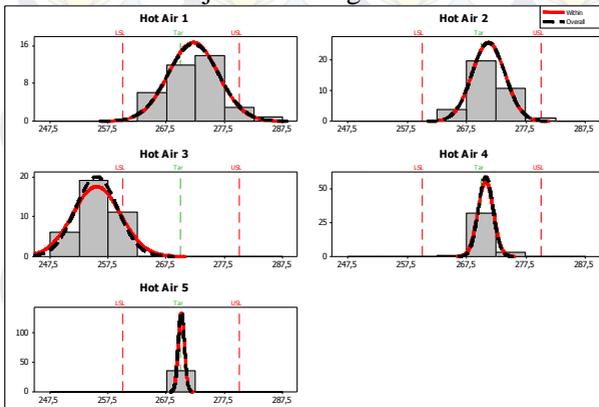
Tabel 4.6 Kapabilitas Masing-masing *Hot Air*

	<i>Hot Air 1</i>	<i>Hot Air 2</i>	<i>Hot Air 3</i>	<i>Hot Air 4</i>	<i>Hot Air 5</i>
Cg	0,17	0,31	0,09	0,45	1,27
Cgk	-0,04	0,23	0,05	0,28	1,15

Tabel 4.6 menunjukkan kapabilitas dari masing-masing *Hot Air*, yaitu tingkat presisi dan akurasi dari *Hot Air 1* sampai dengan *Hot Air 5*. *Hot Air 3* memiliki tingkat kapabilitas yang paling rendah dibandingkan dengan *Hot Air* lainnya, ditunjukkan dengan *Cg* yang menyatakan presisi sangat rendah dan *Cgk* yang menyatakan akurasi juga sangat rendah. Pengukuran temperatur yang dihasilkan oleh *Hot Air 3* memiliki jarak yang jauh antar pengamatannya dan jauh dari *standard setting*. Selain *Hot Air 3*,

Hot Air 1 juga memiliki kapabilitas yang rendah. Nilai C_{pk} pada *Hot Air 1* sangat rendah, artinya pengukuran yang dihasilkan oleh *Hot Air 1* jauh dari *standard setting temperatur Hot Air*. Hal ini sesuai dengan hasil ANOVA pada subbab 4.1 yang menunjukkan bahwa faktor *Hot Air* yang signifikan adalah *Hot Air 3* dan *Hot Air 1*, karena pengukuran yang dihasilkan oleh kedua *Hot Air* tersebut tidak sama dengan pengukuran oleh *Hot Air* lainnya. Sehingga variasi pengukuran yang ditimbulkan oleh *Hot Air 3* dan 1 sangat besar.

Selain itu juga dibuktikan dengan Gambar 4.9 berikut bahwa *Hot Air 5* memiliki hasil pengukuran yang sesuai dengan target, namun *Hot Air 3* jauh dari target.



Gambar 4.9 Kapabilitas Masing-masing *Hot Air*

Pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa *Hot Air 5* menghasilkan pengukuran temperatur yang sangat kapabel, dimana hasilnya sesuai dengan target dan berada dalam batas spesifikasi atas dan bawah. Sedangkan *Hot Air 3* menghasilkan pengukuran temperatur yang jauh dari target dan tidak berada dalam batas spesifikasi. Hal ini membuktikan bahwa *Hot Air 5* mampu menghasilkan pengukuran temperatur yang akurat dan presisi.

4.2.2 MSA Tipe II pada Temperatur *Hot Air*

Measurement System Analysis Tipe II digunakan untuk menentukan apakah sistem pengukuran tersebut telah kapabel dan mendapatkan *error* variasi yang dihasilkan dari pengukuran tersebut. Analisis ini memberikan nilai perbandingan antara varian dari sistem pengukuran dengan total varian proses atau dengan *tolerance value*. Pada penelitian ini, ukuran yang digunakan untuk mengambil kesimpulan adalah metode ANOVA, *Number of Distinct Categories* (*ndc*), *Precision to Tolerance ratio* (*P/T ratio*), *Signal to Noise Ratio* (*SNR*), dan *Discrimination Ratio* (*DR*).

Berikut ini merupakan hasil analisis MSA Tipe II (*Gauge R&R*) menggunakan metode ANOVA. Pada subbab sebelumnya didapatkan bahwa faktor yang berpengaruh signifikan terhadap hasil sistem pengukuran adalah faktor *Hot Air* dan interaksi antara *Hot Air* dengan *operator*. Berdasarkan ANOVA pada Tabel 4.1 didapatkan nilai komponen *Gauge R&R* sebagai berikut.

Tabel 4.7 MSA Tipe II Metode ANOVA

Sumber	% Contribution	% Study Var
Total Gage R&R	11,50	33,92
Repeatability	10,42	32,28
Reproducibility	1,08	10,40
Operator	0,00	0,00
Operator*Hot Air	1,08	10,40
Part-To-Part	88,50	94,07
Total Variation	100,00	100,00
Ndc		3

Percent study varians merupakan perbandingan variasi pengukuran terhadap total variasi proses yang digunakan untuk mengetahui ukuran seberapa baik suatu sistem pengukuran. Persentase *study varians total Gauge R&R* yang diperoleh dari persamaan (2.14) adalah 33,92%. Nilai *percent study varians* tersebut lebih besar dari 30%, sehingga sistem pengukuran temperatur dikatakan *unacceptable*. Jika dilihat dari persentase *contribution variation Gauge R&R* didapatkan hasil sebesar 11,50%. Nilai tersebut lebih besar dari 9% sehingga sistem

pengukuran tidak *acceptable*. Berdasarkan Persamaan (2.18) *Error* variasi pengukuran yang dihasilkan dari *operator* sebesar 0% karena *operator* tidak berpengaruh signifikan terhadap hasil sistem pengukuran. *Error* yang disebabkan oleh interaksi antara *Hot Air* dan *operator* cukup besar karena melebihi 10%, yakni sebesar 10,40%. *Error* yang disebabkan oleh *Hot Air* dari Persamaan (2.19) sangat besar yaitu 32,28%, sehingga varian dari pengukuran yang dilakukan oleh *operator* yang sama dan alat yang sama sangat mempengaruhi sistem pengukuran (*measurement system*). Variasi yang ditimbulkan dari *part-to-part* juga sangat besar yakni 94,07%, hal ini menunjukkan bahwa variasi pengukuran antar *Hot Air* 1 dengan *Hot Air* lainnya sangat besar. Sesuai dengan kesimpulan yang didapatkan dari subbab 4.1 yang membahas mengenai ANOVA, bahwa faktor yang menyebabkan sistem pengukuran tidak *acceptable* adalah faktor *Hot Air* dan variasi *error* yang ditimbulkan dari *Hot Air* sebesar 32,28% dari total variasi proses pengukuran.

Evaluasi sistem pengukuran selanjutnya menggunakan *number of distinct categories* atau *ndc* yang menunjukkan rentang dari varian alat ukur. Tabel 4.7 menunjukkan bahwa *number of distinct categories* sebesar 3, dimana nilai tersebut lebih kecil dari 5. Berdasarkan Persamaan (2.26), dapat dikatakan bahwa sistem pengukuran yang dilakukan belum dapat diterima untuk mengambil keputusan terhadap proses kontrol. Alat ukur dalam penelitian ini yaitu *Hot Air* memiliki resolusi rendah dalam membedakan antar *Hot Air*. Semakin kecil rentang varian alat ukur dapat dikatakan *measurement system* tidak kapabel.

Penggunaan *percent study varians* atau persentase *contribution variation* untuk mengevaluasi suatu sistem pengukuran bergantung pada tujuan penelitian. *Measurement System Analysis* dalam penelitian ini bertujuan untuk proses *improvement* dalam hal mengurangi variasi dari *part-to-part*, dengan cara mengestimasi presisi dari pengukuran. Selain itu, untuk mengevaluasi kedekatan proses dari alat ukur dengan spesifikasi yang ditentukan. Berdasarkan tujuan tersebut maka

digunakan kedua ukuran dalam mengambil keputusan. Dimana hasil ketiga ukuran tersebut menyatakan bahwa sistem pengukuran temperatur tidak kapabel artinya tidak valid dalam melakukan sistem pengukuran. Faktor yang menyebabkan *unacceptable* adalah faktor *Hot Air* sehingga *Hot Air* perlukan diperbaiki agar dapat menghasilkan pengukuran yang valid.

Analisis sistem pengukuran selanjutnya menggunakan ukuran *Precision to Tolerance ratio* (P/T ratio), *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Discrimination Ratio* (DR) untuk membuktikan apakah benar sistem pengukuran tidak *acceptable*.

Tabel 4.8 Ukuran MSA Tipe II

Sumber	Nilai
P/T Ratio	0,797823
SNR	3,904272
DR	4,030302

Ukuran *Precision to Tolerance ratio* (P/T ratio), *Signal to Noise Ratio* (SNR), dan *Discrimination Ratio* (DR) didapatkan dari hasil perhitungan komponen *Gauge R&R* pada Lampiran 18.

Berdasarkan Persamaan (2.27) P/T ratio yang dihasilkan sebesar 0,797823 yang lebih besar dari 0,1. Hal ini menunjukkan bahwa alat ukur tidak kapabel dalam mengukur suatu sistem pengukuran dengan akurat dan presisi.

Tabel 4.8 menunjukkan *Signal to Noise Ratio* sebesar 3,904272. Nilai tersebut didapatkan dari persamaan (2.28) yang lebih kecil dari nilai yang direkomendasikan yakni 5 atau lebih dari 5. Berdasarkan ukuran *Signal to Noise Ratio* dikatakan bahwa alat ukur tidak kapabel.

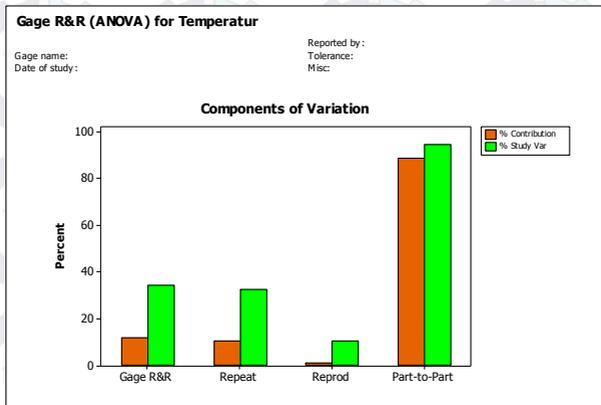
Jika dilihat dari *Discrimination Ratio* dapat dikatakan bahwa alat ukur tidak kapabel dalam melakukan sistem pengukuran karena nilai *Discrimination Ratio* tidak lebih besar dari 4. Ukuran *Discrimination Ratio* berdasarkan Persamaan (2.29) yang disarankan adalah lebih kecil dari 4.

Jadi dapat disimpulkan bahwa sistem pengukuran temperatur pada proses *Tube Sealing* tidak kapabel, artinya sistem pengukuran belum mampu menghasilkan pengukuran yang akurat

dan konsisten. Hal ini dibuktikan dengan seluruh ukuran yang digunakan untuk mengambil kesimpulan, yakni *Percent study varians*, *number of distinct categories*, *percent study varians*, *Precision to Tolerance ratio (P/T ratio)*, *Signal to Noise Ratio (SNR)*, dan *Discrimination Ratio (DR)* menunjukkan hasil yang sama yaitu tidak kapabel. Hasil sistem pengukuran pada proses *Tube Sealing* belum memenuhi *standard acceptance criteria* pada seluruh ukuran tersebut.

Berdasarkan hasil ANOVA pada subbab 4.1 didapatkan bahwa faktor yang menyebabkan *Hot Air* signifikan atau berpengaruh terhadap sistem pengukuran adalah *Hot Air 1* dan *Hot Air 3*. Selain itu, hasil *Measurement System Analysis Tipe I* pada masing-masing *Hot Air* didapatkan bahwa kapabilitas *Hot Air 1* dan *Hot Air 3* adalah yang paling rendah. Oleh karena itu, dilakukan *Measurement System Analysis Gauge R&R* tanpa melibatkan *Hot Air 1* dan *Hot Air 3* pada Lampiran 19. Komponen Varians dari *total gauge R&R* tanpa melibatkan *Hot Air 1* dan *Hot Air 3* yang dihasilkan lebih kecil daripada varians pada *Gauge R&R* yang melibatkan semua *Hot Air*. *Study variance* yang dihasilkan juga lebih kecil sehingga varians sistem pengukuran yang ditimbulkan dari *Hot Air 2, 4, dan 5* rendah. Varians yang kecil menunjukkan bahwa sistem pengukurannya baik karena jarak antar pengamatannya tidak jauh dan temperatur yang dihasilkan mendekati *standard setting* yang ditetapkan. Hal ini membuktikan bahwa *Hot Air 1* dan *3* tidak kapabel dalam menghasilkan sistem pengukuran yang valid.

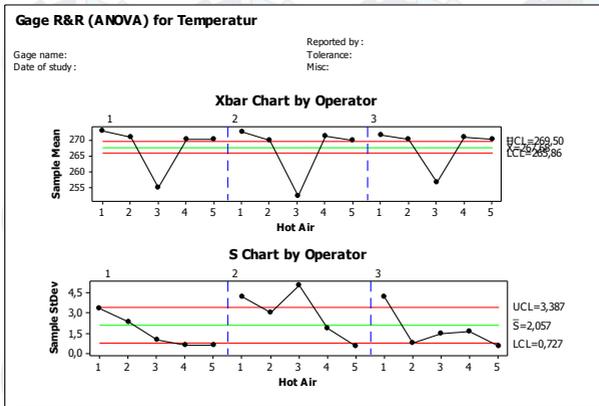
Measurement System Analysis juga dapat dilihat melalui gambaran visual dari *Gauge R&R* (metode ANOVA). Secara visual dapat dilihat dari varian komponen *Gauge R&R*, peta $\bar{X}-S$, dan grafik dari masing-masing faktor ANOVA yaitu faktor *Hot Air*, faktor *operator*, dan interaksi antara kedua faktor.



Gambar 4.10 Histogram Variasi Komponen *Gauge R&R*

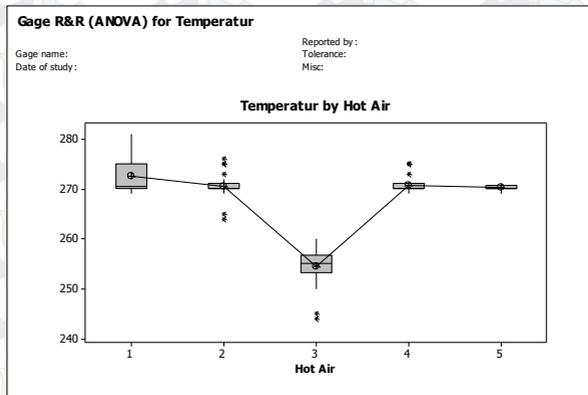
Persentase *study varians* dan *contribution* dari komponen *part-to-part* lebih besar dibandingkan komponen lainnya, dapat dilihat pada Gambar 4.10 bahwa variasi *part-to-part* lebih tinggi di antara komponen *Gauge R&R*, *repeatability*, dan *reproducibility*. Hal ini menunjukkan bahwa variasi sistem pengukuran (*measurement system*) lebih banyak disebabkan oleh variasi antar part *Hot Air*, *Hot Air 1* dengan *Hot Air* lainnya. Persentase *study varians* yang ditimbulkan dari *Gauge R&R* dan *repeatability* mempunyai nilai lebih dari 10% sehingga variasi yang ditimbulkan dari *Gauge R&R* dan *repeatability* besar. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kesalahan terbesar sistem pengukuran disebabkan oleh alat ukur itu sendiri. *Improvement* lebih baik difokuskan pada *Hot Air* untuk mengurangi variasi dari pengukuran tiap *Hot Air*, agar konsistensi dalam pengukuran meningkat.

Kemudian Gambar 4.11 berikut menunjukkan grafik peta $\bar{X} - S$ dari hasil *Measurement System Analysis Gauge R&R*.



Gambar 4.11 Peta X-bar dan S Gauge R&R

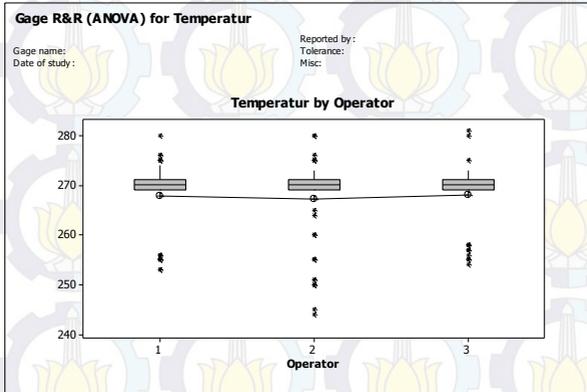
Pada grafik S-chart yang ditunjukkan Gambar 4.11, terlihat bahwa pengukuran yang dihasilkan oleh *operator 1* telah berada dalam batas kendali. Hal ini menunjukkan bahwa *operator 1* yakni Pak Arie telah mampu menghasilkan sistem pengukuran temperatur *Hot Air* yang terkendali secara statistik. Sedangkan *operator 2* dan *operator 3* yakni Pak Yasin dan Pak Mukti, terdapat titik yang keluar dari batas kendali artinya variasi pengukuran yang dilakukan oleh kedua *operator* tersebut mempunyai variasi yang cukup tinggi sehingga hasil pengukuran kurang konsisten. Kemudian pada X-bar Chart dapat dilihat bahwa banyak titik yang berada di luar batas kendali, hal ini mengindikasikan bahwa variasi dari alat ukur (*varians part-to-part*) lebih besar dibandingkan variasi sistem pengukuran (*repeatability*).



Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Berdasarkan *Hot Air*

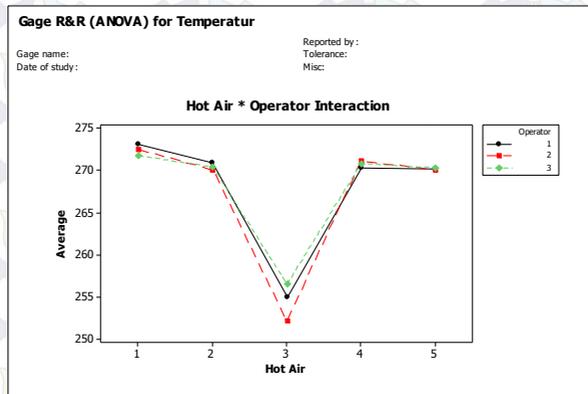
Pada Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa pengukuran yang dihasilkan dari *Hot Air* 1, 2, 4, dan 5 memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Garis yang menghubungkan antara rata-rata pengukuran *Hot Air* 1, 2, 4, dan 5 membentuk garis lurus, sehingga tidak ada perbedaan yang signifikan dari hasil pengukuran temperatur keempat *Hot Air* tersebut. Namun *Hot Air* 3 memiliki hasil pengukuran yang paling rendah di antara yang lainnya yakni $254,53^{\circ}\text{C}$, hal ini disebabkan oleh standar *setting* temperatur *Hot Air* 3 juga paling rendah di antara *Hot Air* lainnya, yakni 255°C , sehingga hasil pengukuran temperatur yang dihasilkan pun juga paling rendah. *Hot Air* 2, 3 dan 4 memiliki variasi pengukuran yang besar karena terdapat hasil pengukuran yang *outlier*. Rata-rata pengukuran temperatur yang dihasilkan oleh *Hot Air* 1 sebesar $272,44^{\circ}\text{C}$, *Hot Air* 2 adalah $270,47^{\circ}\text{C}$, *Hot Air* 4 adalah $270,75^{\circ}\text{C}$ dan *Hot Air* 5 adalah $270,19^{\circ}\text{C}$. *Hot Air* 5 memiliki hasil pengukuran yang sangat baik karena rata-rata pengukurannya sangat dekat dengan *standard setting* yakni 270°C . Selain itu juga ditunjukkan oleh grafik bahwa tidak ada hasil pengukuran yang *outlier* dan rentang pengukuran tidak lebar, sehingga pengukuran konsisten mendekati standar *setting Hot Air*.

Berikut ini merupakan grafik hasil pengukuran berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh ketiga *operator*.



Gambar 4.13 Hasil Pengukuran Berdasarkan *Operator*

Gambar 4.13 menunjukkan rata-rata hasil pengukuran oleh ketiga *operator*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa garis yang menghubungkan rata-rata pengukuran ketiga *operator* membentuk garis lurus yang segaris, sehingga antar *operator* menghasilkan hasil pengukuran yang tidak jauh berbeda. Variasi pengukuran terbesar dihasilkan oleh *operator* 2 dan 3 yakni Pak Yasin dan Pak Mukti, terlihat dari banyaknya hasil pengukuran yang berada di luar batas spesifikasi. Variasi pengukuran terkecil terdapat pada *operator* 1 yakni Pak Arie, yang telah mampu mengukur temperatur *Hot Air* secara hampir konsisten. Hal ini dapat dilihat dari sedikitnya *outlier* yang dihasilkan oleh *operator* Pak Arie. Secara keseluruhan ketiga *operator* telah mampu mengukur temperatur dengan baik karena tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran *operator* satu dengan lainnya.



Gambar 4.14 Hasil Pengukuran Berdasarkan Interaksi Faktor

Gambar 4.14 merupakan grafik yang memperjelas hasil pengukuran masing-masing *operator* terhadap masing-masing *Hot Air*. Garis berwarna hitam merupakan rata-rata pengukuran oleh *operator* 1 yaitu Pak Arie. Garis berwarna merah merupakan *operator* 2 yakni Pak Yasin, dan garis berwarna hijau merupakan *operator* 3 yaitu Pak Mukti. Sumbu vertikal menunjukkan hasil rata-rata pengukuran yang dilakukan oleh setiap *operator* pada masing-masing alat ukur yaitu *Hot Air*. Sumbu *horizontal* menunjukkan alat ukur yang diukur oleh setiap *operator*, terdapat 5 *Hot Air* yang diukur oleh masing-masing *operator*. Masing-masing garis saling tumpang tindih antara *operator* 1, 2, dan 3 menunjukkan bahwa seluruh *operator* memiliki teknik yang sama dalam menggunakan *Hot Air*, sehingga rata-rata hasil pengukuran yang dihasilkan oleh ketiga *operator* tidak berbeda signifikan. Namun gambar tersebut menunjukkan interaksi yang kurang baik antara *operator* dan *Hot Air*, ditunjukkan oleh garis-garis yang menghubungkan antar titik rata-rata pengukuran *operator* antar *Hot Air*. Hasil pengukuran yang dihasilkan tidak homogen, ada yang cenderung lebih tinggi dan sangat rendah, yaitu pada *Hot Air* 3. *Hot Air* 3 memiliki standar *setting* yang berbeda di antara *Hot Air* lainnya, sehingga hasil pengukuran yang dihasilkan oleh *operator* mengikuti standar dalam batas spesifikasi tersebut. *Operator* 1 dalam mengukur temperatur *Hot Air* telah sesuai

target dan memiliki varian yang kecil antar pengukurannya, ditunjukkan dengan garis warna hitam yang tidak banyak mengalami fluktuasi jika tidak mengikutsertakan *Hot Air 3*. Begitu juga pengukuran yang dihasilkan oleh *operator 2* dan *operator 3* yang tidak mengalami fluktuasi yang signifikan jika tidak mengikutsertakan *Hot Air 3*. Jika dalam membaca gambar mengikutsertakan hasil pengukuran *Hot Air 3* maka Gambar 4.8 menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara pengukuran yang dihasilkan oleh ketiga *operator* terhadap masing-masing *Hot Air*. Hal ini disebabkan oleh pengukuran yang dihasilkan oleh *Hot Air 3* yang paling rendah sehingga hasil pengukuran mengalami intervensi yang curam.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

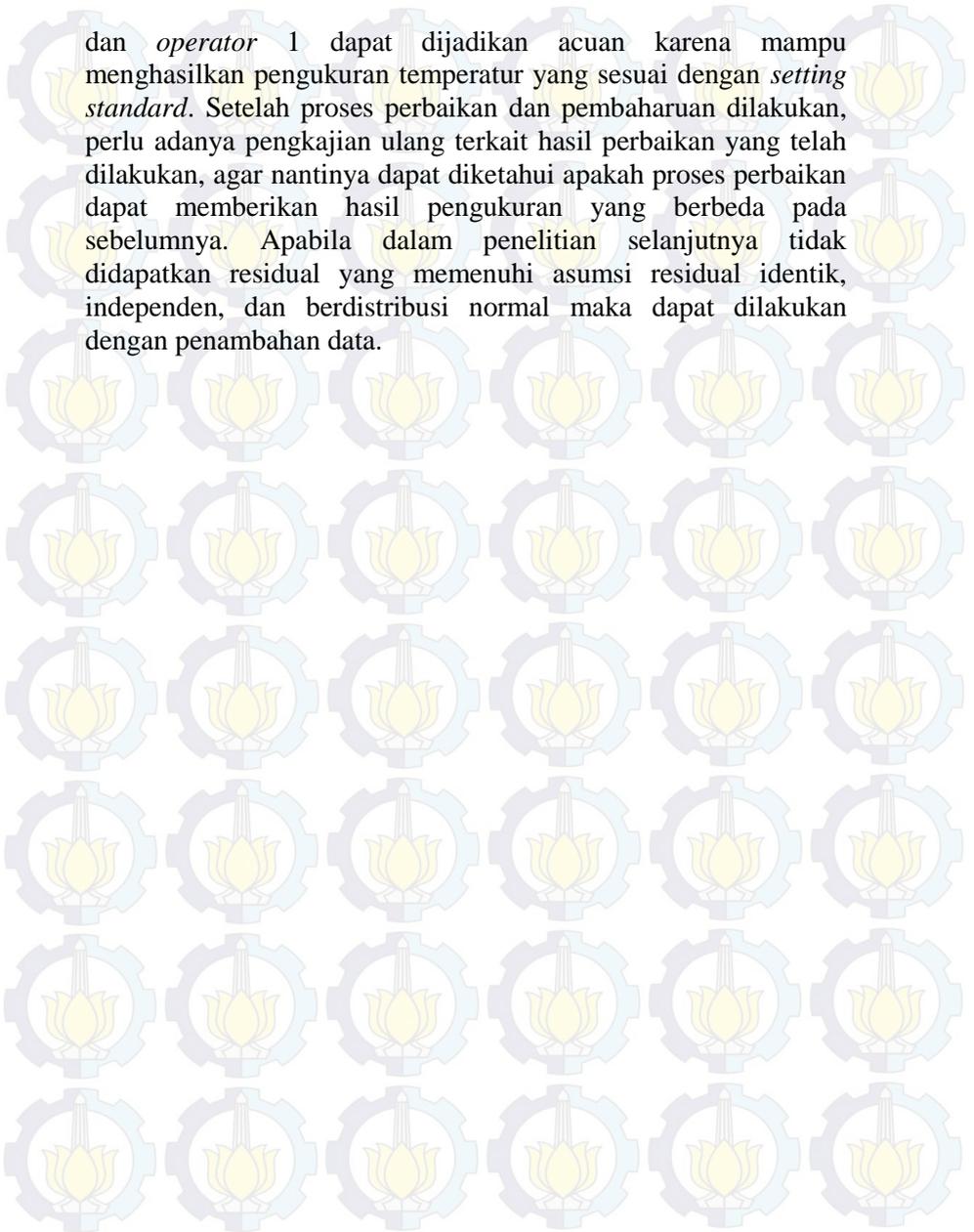
Kesimpulan yang didapatkan dari analisis sistem pengukuran temperatur pada proses *Tube Sealing* adalah sebagai berikut.

1. Faktor yang berpengaruh signifikan terhadap sistem pengukuran temperatur adalah faktor *Hot Air* dan interaksi antara *Hot Air* dan *operator*. *Hot Air* yang menyebabkan hasil pengukuran temperatur signifikan adalah *Hot Air 3* dan 1. Adapun interaksi yang signifikan menunjukkan bahwa hasil pengukuran ketiga *operator* dalam mengukur masing-masing *Hot Air* tidak homogen. Hal ini dapat diartikan bahwa terjadinya ketidakhomogenan hasil pengukuran disebabkan oleh *Hot Air 3* dan 1.
2. Berdasarkan enam ukuran kriteria *Measurement System Analysis*, sistem pengukuran temperatur pada proses *Tube Sealing Line D11* tidak kapabel. Varians terbesar disebabkan oleh *Hot Air* tidak kapabel, sehingga tidak akurat dan presisi dalam mengukur temperatur. *Hot Air* yang teridentifikasi sangat tidak kapabel dalam sistem pengukuran temperatur adalah *Hot Air 3* dan *Hot Air 1*. Sedangkan *Hot Air* yang paling kapabel adalah *Hot Air 5*. *Operator* memiliki kemampuan dan teknik yang sama dalam mengukur temperatur yang ditandakan dengan hasil sistem pengukuran yang homogen antar *operator*.

5.2 Saran

Perawatan terhadap *Hot Air* dapat dilakukan secara berkala dan penggantian komponen yang rusak sangat diperlukan agar didapatkan sistem pengukuran yang kapabel, terutama dilakukan pada *Hot Air 3* dan 1. *Hot Air 2* dan 4 juga perlu dilakukan perbaikan agar didapatkan sistem pengukuran yang kapabel. *Hot Air 5* perlu dijaga dan tetap dirawat agar tetap kapabel. *Hot Air 5*

dan *operator* 1 dapat dijadikan acuan karena mampu menghasilkan pengukuran temperatur yang sesuai dengan *setting standard*. Setelah proses perbaikan dan pembaharuan dilakukan, perlu adanya pengkajian ulang terkait hasil perbaikan yang telah dilakukan, agar nantinya dapat diketahui apakah proses perbaikan dapat memberikan hasil pengukuran yang berbeda pada sebelumnya. Apabila dalam penelitian selanjutnya tidak didapatkan residual yang memenuhi asumsi residual identik, independen, dan berdistribusi normal maka dapat dilakukan dengan penambahan data.



DAFTAR PUSTAKA

- Automotive Industry Action Group (AIAG). (2010). *Measurement Systems Analysis Reference Manual Fourth Edition*. Southfield: Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation.
- Dewi, N. S. (2013). *Measurement System Analysis Repeatability dan Reproducibility (Gauge R&R) Studi Kasus: PT. Gaya Motor (Astra Group)*. Surabaya: Jurusan Statistika ITS.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basics Econometrics Fifth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Joglekar, A. M. (2003). *Statistical Methods for Six Sigma in R&D and Manufacturing*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Louka, G. A., & Besseris, G.J. (2010). Gauge R&R for An Optical Micrometer Industrial Type Machine. *International Journal for Quality Research*, Vol.4, No.4, 249-263.
- Montgomery, D. C. (2009). *Introduction to Statistical Quality Control Sixth Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.,.
- Montgomery, D. C. (2013). *Design and Analysis of Experiments Eighth Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.,.
- Pan, Jeh-Nan. (2004). Determination of The Optimal Allocation of Parameters for Gauge Repeatability and Reproducibility Study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 21, No.6, 672-682.
- Roth, Thomas. (2013). Working with The Quality Tools Package. <http://www.r-qualitytools.org>. Diakses pada 1 Desember 2015.
- Woodall, W. H, & Borror, C. M. (2008). Some Relationship Between Gage R&R Criteria. *Quality and Reliability Engineering International*, Vol.24, 99-106.
- Yosepha, A. S. (2015). Analisis *Measurement System* pada Proses *Pumping dan Gas Pressure* Produksi Lampu Spiral Jenis X di PT XYZ. Surabaya: Jurusan Statistika FMIPA ITS.



Lampiran 1. Output Software ANOVA (Analysis Of Variance) Keseluruhan Faktor

General Linear Model: Temperatur versus Hot Air; Operator

Factor	Type	Levels	Values
Hot Air	fixed	5	1; 2; 3; 4; 5
Operator	fixed	3	1; 2; 3

Analysis of Variance for Temperatur, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Hot Air	4	7892,09	7892,09	1973,02	307,90	0,000
Operator	2	20,84	20,84	10,42	1,63	0,200
Hot Air*Operator	8	115,04	115,04	14,38	2,24	0,027
Error	165	1057,33	1057,33	6,41		
Total	179	9085,31				

S = 2,53142 R-Sq = 88,36% R-Sq(adj) = 87,37%

Unusual Observations for Temperatur

Obs	Temperatur	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	280,000	273,083	0,731	6,917	2,85 R
13	280,000	272,500	0,731	7,500	3,09 R
14	280,000	272,500	0,731	7,500	3,09 R
31	280,000	271,750	0,731	8,250	3,40 R
32	281,000	271,750	0,731	9,250	3,82 R
48	276,000	270,917	0,731	5,083	2,10 R
50	275,000	270,083	0,731	4,917	2,03 R
52	265,000	270,083	0,731	-5,083	-2,10 R
53	264,000	270,083	0,731	-6,083	-2,51 R
87	260,000	252,167	0,731	7,833	3,23 R
88	260,000	252,167	0,731	7,833	3,23 R
95	244,000	252,167	0,731	-8,167	-3,37 R
96	245,000	252,167	0,731	-7,167	-2,96 R

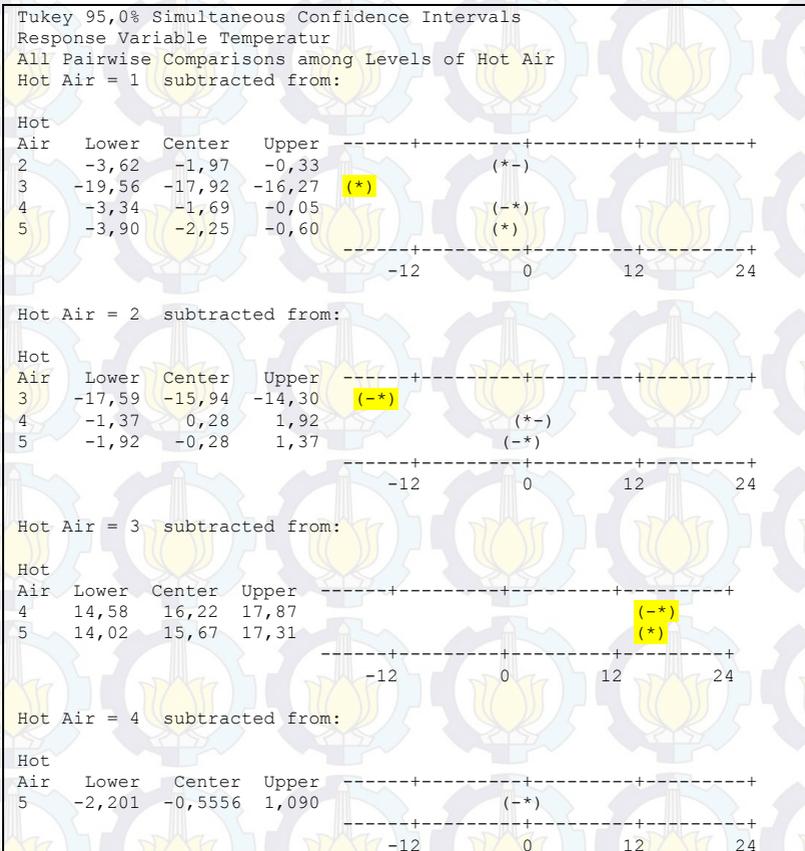
R denotes an observation with a large standardized residual.

Lampiran 2. Output Software Uji Perbandingan Berganda Keseluruhan Faktor

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Hot Air	N	Mean	Grouping
1	36	272,4	A
4	36	270,8	B
2	36	270,5	B
5	36	270,2	B
3	36	254,5	C

Means that do not share a letter are significantly different.



Lampiran 3. Output Software ANOVA (Analysis Of Variance) Tanpa Hot Air 3

Analysis of Variance for Temperatur, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Hot Air	3	110,576	110,576	36,859	6,56	0,000
Operator	2	1,764	1,764	0,882	0,16	0,855
Hot Air*Operator	6	18,736	18,736	3,123	0,56	0,765
Error	132	741,750	741,750	5,619		
Total	143	872,826				

S = 2,37051 R-Sq = 15,02% R-Sq(adj) = 7,94%

Lampiran 4. Output Software Uji Perbandingan Berganda Tanpa Hot Air 3

Grouping Information Using Tukey Method and 95,0% Confidence

Hot Air	N	Mean	Grouping
1	36	272,4	A
4	36	270,8	B
2	36	270,5	B
5	36	270,2	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95,0% Simultaneous Confidence Intervals
Response Variable Temperatur
All Pairwise Comparisons among Levels of Hot Air
Hot Air = 1 subtracted from:

Hot Air	Lower	Center	Upper
2	-3,426	-1,972	-0,5183
4	-3,148	-1,694	-0,2405
5	-3,704	-2,250	-0,7961

Hot Air = 2 subtracted from:

Hot Air	Lower	Center	Upper
4	-1,176	0,2778	1,732
5	-1,732	-0,2778	1,176

Hot Air = 4 subtracted from:

Hot Air	Lower	Center	Upper
5	-2,009	-0,5556	0,8984

Lampiran 5. Output Software ANOVA (Analysis Of Variance) Tanpa Hot Air 1 dan 3

Analysis of Variance for Temperatur, using Adjusted SS for Tests

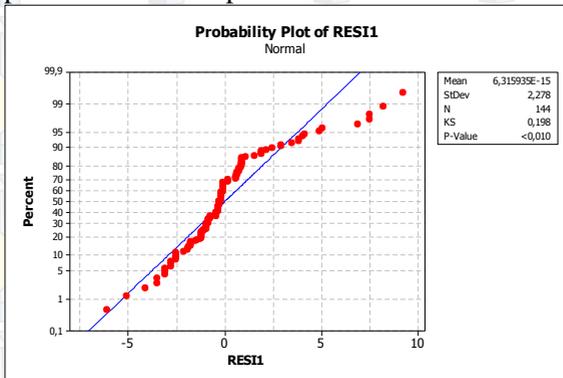
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Hot Air	2	5,556	5,556	2,778	1,13	0,327
Operator	2	0,167	0,167	0,083	0,03	0,967
Hot Air*Operator	4	9,611	9,611	2,403	0,98	0,424
Error	99	243,583	243,583	2,460		
Total	107	258,917				

S = 1,56858 R-Sq = 5,92% R-Sq(adj) = 0,00%

Lampiran 6. Uji Glejser pada ANOVA Tanpa Hot Air 3

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Hot Air	3	141,558	141,558	47,186	22,73	0,000
Operator	2	6,102	6,102	3,051	1,47	0,234
Hot Air*Operator	6	12,899	12,899	2,150	1,04	0,405
Error	132	273,968	273,968	2,076		
Total	143	434,527				

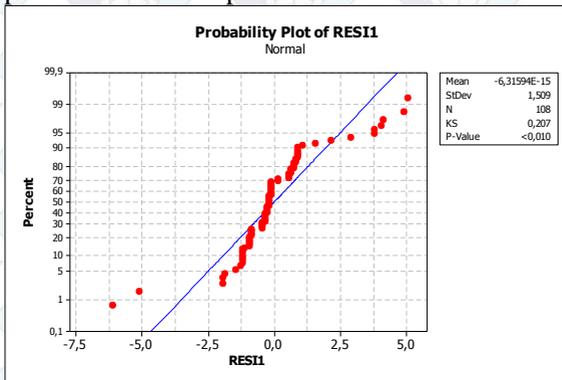
Lampiran 7. Pemeriksaan Asumsi Residual Distribusi Normal pada ANOVA Tanpa Hot Air 3



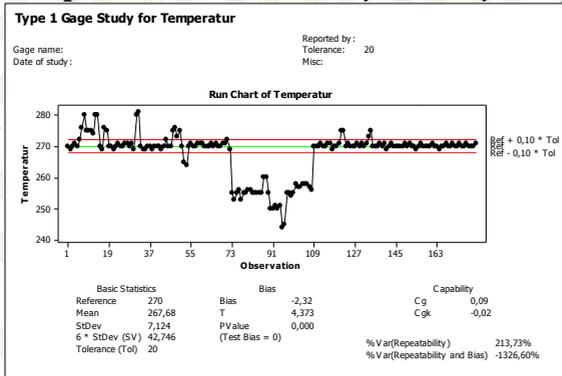
Lampiran 8. Uji *Glejser* pada ANOVA Tanpa *Hot Air* 1 dan 3

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Hot Air	2	19,459	19,459	9,729	8,33	0,000
Operator	2	3,352	3,352	1,676	1,44	0,243
Hot Air*Operator	4	11,927	11,927	2,982	2,55	0,044
Error	99	115,634	115,634	1,168		
Total	107	150,372				

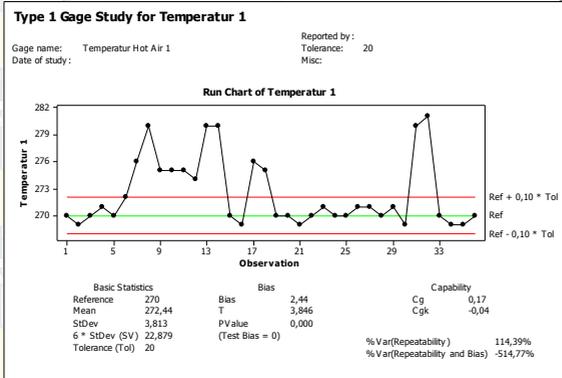
Lampiran 9. Pemeriksaan Asumsi Residual Distribusi Normal pada ANOVA Tanpa *Hot Air* 1 dan 3



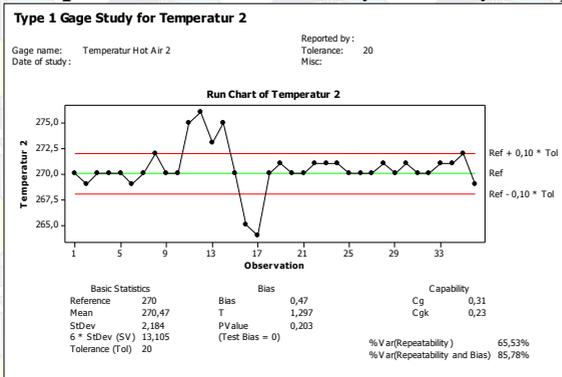
Lampiran 10. *Measurement Sytem Analysis* Tipe I



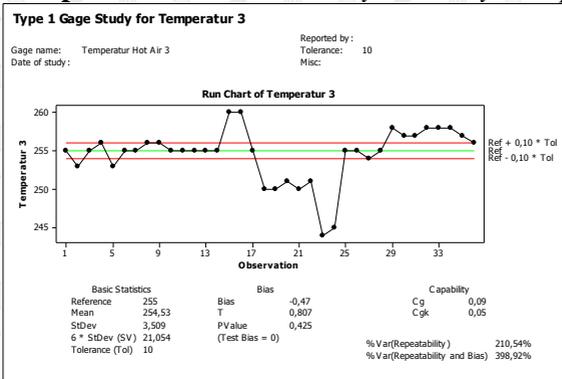
Lampiran 11. Measurement Sytem Analysis Tipe I Hot Air 1



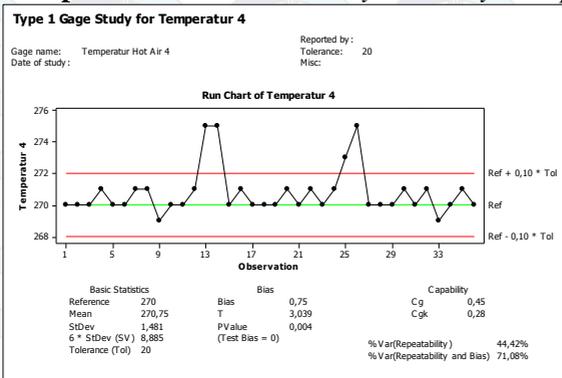
Lampiran 12. Measurement Sytem Analysis Tipe I Hot Air 2



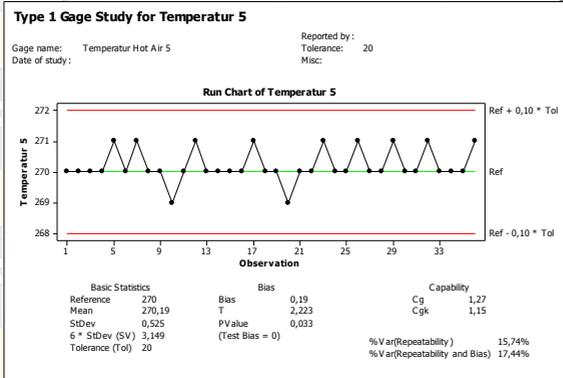
Lampiran 13. Measurement Sytem Analysis Tipe I Hot Air 3



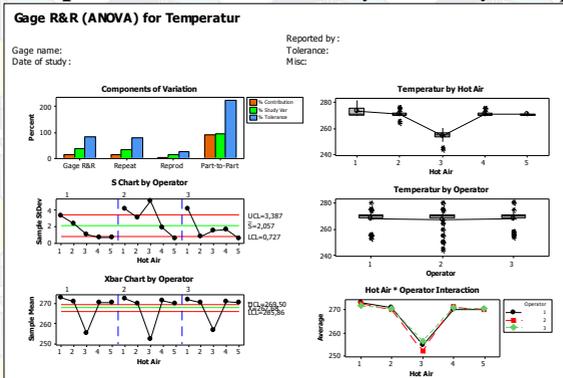
Lampiran 14. Measurement Sytem Analysis Tipe I Hot Air 4



Lampiran 15. Measurement Sytem Analysis Tipe I Hot Air 5



Lampiran 16. Measurement Sytem Analysis Tipe II



Lampiran 17. Output Software Measurement System Analysis Gauge R&R

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Hot Air	4	7892,09	1973,02	137,201	0,000
Operator	2	20,84	10,42	0,725	0,514
Hot Air * Operator	8	115,04	14,38	2,244	0,027
Repeatability	165	1057,33	6,41		
Total	179	9085,31			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	7,0725	11,50
Repeatability	6,4081	10,42
Reproducibility	0,6644	1,08
Operator	0,0000	0,00
Operator*Hot Air	0,6644	1,08
Part-To-Part	54,4067	88,50
Total Variation	61,4792	100,00

Process tolerance = 20

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	2,65941	15,9565	33,92	79,78
Repeatability	2,53142	15,1885	32,28	75,94
Reproducibility	0,81509	4,8905	10,40	24,45
Operator	0,00000	0,0000	0,00	0,00
Operator*Hot Air	0,81509	4,8905	10,40	24,45
Part-To-Part	7,37609	44,2565	94,07	221,28
Total Variation	7,84087	47,0452	100,00	235,23

Number of Distinct Categories = 3

Lampiran 18. Perhitungan Manual *Precision-to-Tolerance*, *Signal-to-Noise*, dan *Discrimination Ratio*

$$P/T = \frac{6\hat{\sigma}_{Gauge}}{BSA - BSB} = \frac{6(2,65941)}{280 - 260} = 0,797825$$

$$\rho_{Part} = \frac{\hat{\sigma}_{Part}^2}{\hat{\sigma}_{Total}^2} = \frac{54,4067}{61,4792} = 0,884961$$

$$SNR = \sqrt{\frac{2\hat{\rho}_{part}}{1 - \hat{\rho}_{part}}} = \sqrt{\frac{2(0,884961)}{1 - 0,884961}} = 3,904272$$

$$DR = \sqrt{\frac{1 + \hat{\rho}_{Part}}{1 - \hat{\rho}_{Part}}} = \sqrt{\frac{1 + 0,884961}{1 - 0,884961}} = 4,0365806$$

Lampiran 19. Output Software Measurement System Analysis Gauge R&R Tanpa Hot Air 1 dan 3

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Hot Air	2	5,556	2,77778	1,15607	0,402
Operator	2	0,167	0,08333	0,03468	0,966
Hot Air * Operator	4	9,611	2,40278	0,97657	0,424
Repeatability	99	243,583	2,46044		
Total	107	258,917			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Hot Air	2	5,556	2,77778	1,13001	0,327
Operator	2	0,167	0,08333	0,03390	0,967
Repeatability	103	253,194	2,45820		
Total	107	258,917			

Gage R&R

Source	VarComp
Total Gage R&R	2,45820
Repeatability	2,45820
Reproducibility	0,00000
Operator	0,00000
Part-To-Part	0,00888
Total Variation	2,46708

Process tolerance = 20

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	1,56786	9,40719	47,04
Repeatability	1,56786	9,40719	47,04
Reproducibility	0,00000	0,00000	0,00
Operator	0,00000	0,00000	0,00
Part-To-Part	0,09422	0,56531	2,83
Total Variation	1,57069	9,42416	47,12

Number of Distinct Categories = 1

