

TESIS

**PERANCANGAN BERBASIS GREEN ERGONOMIC:
TUNGKU PEMBUAT ARANG RAMAH LINGKUNGAN**



MOCHAMMAD MARDIJANTO

15916109

**PROGRAM PASCASARJANA
MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2018

TESIS

**PERANCANGAN BERBASIS GREEN ERGONOMIC:
TUNGKU PEMBUAT ARANG RAMAH LINGKUNGAN**



MOCHAMMAD MARDIJANTO

15916109

**PROGRAM PASCASARJANA
MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2018

**PERANCANGAN BERBASIS GREEN ERGONOMIC:
TUNGKU PEMBUAT ARANG RAMAH LINGKUNGAN**

**Tesis untuk memperoleh Gelar Magister pada Program
Pascasarjana Magister Teknik Industri Fakultas Teknologi
Industri
Universitas Islam Indonesia**

MOCHAMMAD MARDIJANTO

15916109

**PROGRAM PASCASARJANA
MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**PERANCANGAN BERBASIS GREEN ERGONOMIC:
TUNGKU PEMBUAT ARANG RAMAH LINGKUNGAN**

TESIS

Disusun Oleh:

Nama : Mochammad Mardijanto

NIM : 15916109

Yogyakarta, Kamis 8 Maret 2018

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, MT

NIP 905220101



Ir. Ali Parkhan, MT

NIP 905220102

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
**PERANCANGAN BERBASIS GREEN ERGONOMIC:
TUNGKU PEMBUAT ARANG RAMAH LINGKUNGAN**

TESIS

Disusun Oleh:

Nama : Mochammad Mardijanto

NIM : 15916109

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji

Yogyakarta, Kamis 8 Maret 2018

Tim Penguji

Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, MT

NIP 905220101

Ketua Tim Penguji

Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D

NIP 955220101

Anggota 1

Ir.Drs. Faisal RM, MT,PhD

NIP.845210101

Anggota 2



Mengetahui,

Ketua Program Pascasarjana

Fakultas Teknologi Industri

Dr. R. Teduh Dirgahayu, ST, M.Sc

NIP.985240101

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**PERANCANGAN BERBASIS GREEN ERGONOMIC:
TUNGKU PEMBUAT ARANG RAMAH LINGKUNGAN**

TESIS

Disusun Oleh:

Nama : Mochammad Mardijanto

NIM : 15916109

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji

Yogyakarta, Kamis 8 Maret 2018

Tim Penguji

Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D

NIP 955220101

Ketua

Ir.Drs. Faisal RM, MT,PhD

NIP.845210101

Anggota I

The image shows two handwritten signatures in black ink. The top signature is a cursive script, likely belonging to Ir. Hartomo. The bottom signature is also cursive and more stylized, likely belonging to Ir.Drs. Faisal RM. Both signatures are placed above dotted lines, indicating they are official marks.

Mengetahui,

Ketua Program Pascasarjana

Fakultas Teknologi Industri

Dr. R. Teduh Dirgahayu, ST.,M.Sc

NIP. 985240101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Mochammad Mardijanto

NIM : 15916109

Judul Tesis : "PERANCANGAN BERBASIS GREEN ERGONOMI : TUNGKU
PEMBUAT ARANG RAMAH LINGKUNGAN"

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Tesis ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun pengumpulan dan penyajian data yang tercantum sebagai bagian dari Tesis ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Yogyakarta, 4 April 2018

Yang membuat pernyataan,



MOCHAMMAD MARDIJANTO

NIM. 15916109

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PRASYARAT GELAR.....	li
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	lii
HALAMAN PENETAPAN PANITIA PENGUJI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Khusus.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.5.1 Manfaat Teoritis.....	6
1.5.2 Manfaat Praktis.....	7
1.6 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Penelitian terdahulu.....	9
2.2 Penelitian rancangan ergonomic.....	9
2.3 Rancangan berbasis green ergonomic.....	10

2.4	Arang	11
2.5	Proses Pembuatan Arang.....	12
2.5.1	Kadar Air.....	12
2.5.2	Nilai Kalor.....	13
2.5.3	Polusi.....	13
2.5.3.1	Polutan asap.....	13
2.5.3.2	Polutan debu.....	14
2.5.4	Tahapan proses pengarangan.....	14
2.6	Kualitas	15
2.6.1	Pengendalian Kualitas.....	17
2.6.2	Klasifikasi Karakteristik Kualitas.....	18
2.7	Desain Eksperimen.....	20
2.7.1	Desain Eksperimen Taguchi.....	20
2.7.1.1	Fungsi Kerugian Kualitas.....	22
2.7.1.2	Derajat Bebas.....	24
2.7.1.3	<i>Orthogonal array</i> dan Matriks Eksperimen.....	24
2.7.1.4	Rasio Signal to Noise (SN).....	27
2.8	Uji Normalitas dan Uji Homogenitas.....	28
2.8.1	Uji Normalitas.....	28
2.8.2	Uji Homogenitas Variansi.....	29
2.9	Analysis of Variance (ANOVA).....	30
2.10	Penentuan Level Faktor Kondisi Optimal Menggunakan MRSN..	32
BAB III	METODE PENELITIAN.....	34
3.1	Rancangan Penelitian.....	34
3.2	Objek penelitian.....	35

3.3	Prosedur Penelitian.....	36
3.3.1	Penelitian pendahuluan.....	38
3.3.2	Rancangan alat.....	41
3.3.3	Pembuatan prototipe.....	42
3.3.4	Pengukuran efisiensi alat.....	42
BAB IV	HASIL PENELITIAN.....	48
4.1	Persiapan Eksperimen.....	48
4.2	Pengumpulan Data.....	49
4.2.1	Karakteristik tungku pembuat arang tradisional.....	49
4.2.2	Bangun tungku pembuat arang berbasis green ergonomi.....	52
4.2.2.1	Karakteristik tungku ramah lingkungan terpilih hasil FGD II	53
4.2.3	Hasil eksperimen tungku pembuat arang berbasis ramah lingkungan.....	53
4.2.4	Data Hasil Pengukuran Kalor dan Kadar Air.....	55
4.3	Analisa Data.....	56
4.3.1.	Uji Normalitas Data.....	56
4.3.1.1	Uji Normalitas Kalori.....	57
4.3.1.2	Uji Normalitas Kadar Air.....	58
4.3.2	Uji Homogenitas Variansi	59
4.3.2.1	Uji Homogenitas Variansi Kalori.....	58
4.3.2.2	Uji Homogenitas Variansi Kadar Air.....	62
4.3.3	Analisis Variansi (ANOVA)	63
4.3.3.1	Analisis Variansi (ANOVA) Kalori.....	66
4.3.3.2	Analisis Variansi (ANOVA) Kadar Air.....	67
4.3.4	Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR).....	68

4.3.4.1	Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) Data Kalori.....	68
4.3.4.2	Perhitungan <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) Data Kadar Air.....	69
4.3.5	Perhitungan Efek Tiap Faktor	69
4.3.5.1	Perhitungan Efek Tiap Faktor data Kalori.....	69
4.3.5.2	Perhitungan Efek Tiap Faktor data Kadar Air.....	70
4.3.6	Hasil Eksperimen Prediksi.....	71
4.3.7	Penentuan Level Faktor Kondisi Optimal Menggunakan MRSN..	72
BAB V	PEMBAHASAN.....	75
5.1	Diskusi dan Wawancara Stakeholder.....	75
5.2	Rancang Bangun Alat.....	76
5.3	Karakteristik Tungku ramah lingkungan versus tradisional.....	77
5.4	Metode Taguchi untuk mengukur karakteristik tungku green ergonomi melalui hasil pengukuran kalori dan kadar air.....	82
5.4.1	Analisis Variansi (ANOVA).....	82
5.4.2	Proses Kontribusi.....	82
5.4.3	Pemilihan Level Faktor.....	83
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
6.1	Kesimpulan	84
6.2	Saran.....	84
	DAFTAR PUSTAKA.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Hal
2.1	Standarisasi briket arang (SNI 01- 6235-2000).....	16
2.2	Sifat fisik dan kimia briket arang buatan Jepang, Amerika, Inggris dan Indonesia (Badan Litbang Kehutanan, 1994).....	17
2.3	Tabel <i>Orthogonal array</i>	27
3.1	Matriks dari variabel respon.....	44
3.2	Faktor Kendali.....	46
3.3	Matrik Orthogonal Array $L_8 2^7$ Standar.....	47
3.4	Kombinasi Faktor Kendali dan Level.....	47
4.1	Karakteristik tungku pembuat arang tradisional.....	49
4.2	Hasil Eksperimen tungku pembuat pembuat arang berbasis ramah lingkungan.....	53
4.3	Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr).....	55
4.4	Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%).....	56
4.5	Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr).....	57
4.6	Nilai Daftar Distribusi Normal Kalor.....	58
4.7	Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%).....	58
4.8	Nilai Daftar Distribusi Normal Kadar Air.....	59
4.9	Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr).....	60
4.10	Uji Barlett Data Kalori.....	61
4.11	Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%).....	62
4.12	Uji Barlett Kadar Air.....	62
4.13	Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr).....	66
4.14	Hasil Perhitungan ANOVA Kalor.....	66
4.15	Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%).....	67

4.16	Hasil Perhitungan ANOVA Kadar Air.....	67
4.17	Data Perhitungan SNR Kalor (kalori/gr).....	68
4.18	Data Perhitungan SNR Kadar Air (%).....	69
4.19	Nilai SNR Tiap Faktor Utama Respon Kalori.....	69
4.20	Nilai SNR Tiap Faktor Utama Respon Kadar air.....	70
4.21	1/16 FFE (Fractional-Factorial Experiment).....	71
4.22	Model Regresi Linear Berganda Kalori.....	71
4.23	1/16 FFE (Fractional-Factorial Experiment).....	72
4.24	Hasil Prediksi Kalor (kalori/gr) ada dalam lampiran 12.....	
4.25	Model Regresi Linear Berganda Kadar air.....	72
4.26	Hasil Prediksi Kadar Air (%)ada dalam lampiran 13.....	
4.27	Nilai MRSN j ada dalam lampiran 13.....	
5.1	Karakteristik tungku pembuat arang tradisional versus tungku ramah lingkungan.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Hal
3.1	Diagram alir Penelitian.....	36
3.2	Diagram alir Metode Taguchi.....	37
3.3	Diagram alir Metode Partipasi ergonomi.....	38
4.1	Bangun tungku pembuat arang berbasis green ergonomi (2 dan 3 dimensi).....	52
4.2	Garfik SNR Kalor.....	70
4.3	Grafik SNR Kadar Air.....	70
5.1a	Prototipe bangun tungku 2D.....	76
5.1b	Prototipe bangun tungku 3D.....	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Hal
1	Resume mapping - Desa Girikarto- Kec.Panggang - Kabupaten Gunungkidul.....	92
2	Perhitungan Uji Homogenitas Kalori.....	94
3	Perhitungan Uji Homogenitas Kadar Air.....	95
4	Perhitungan Distribusi Normal Kalor.....	96
5	Perhitungan Distribusi Normal Kadar air.....	98
6	Perhitungan Uji ANOVA Kalor.....	100
7	Perhitungan Uji ANOVA Kadar Air.....	101
8	Perhitungan MRSN.....	102
9	Foto Tungku Produksi Arang.....	105
10	Uji Lab. UGM.....	106
11	Linguistic Terms.....	108
12	Hasil Prediksi Kalor.....	109
13	Hasil Prediksi Kadar Air.....	112
14	Nilai MRSNj.....	115

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum War. Wab.

Alhamdulillah, segala puja dan puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya, sehingga dapat diselesaikan Tesis dengan judul **Perancangan Berbasis Green Ergonomic: Tungku Pembuat Arang Ramah Lingkungan** .

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Magister Teknik Industri, Jurusan Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia. terselesaikannya tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Nandang Sutrisno, SH, LLM, M.Hum, PhD selaku Rektor Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Dr.Drs. Imam Djati Widodo M.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr. R. Teduh Dirgahayu, ST.,M.Sc, selaku Direktur Pascasarjana Teknik Industri Universitas Islam Indonesia
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, MT, selaku dosen pembimbing satu yang telah berkenan memberikan bimbingan, saran dan waktunya untuk menyelesaikan Tesis ini
5. Bapak Ir. Ali Parkhan, MT, selaku dosen pembimbing dua yang telah mensupport dan membantu dalam berbagai hal sehingga Tesis ini dapat diselesaikan
6. Bapak dan Ibu Dosen beserta staf, Fakultas Teknik Industri Universitas Islam Indonesia yang senantiasa mendidik penulis dalam menyelesaikan perkuliahan
7. Kedua Orang Tua, Istri dan Anak, yang telah memberikan curahan kasih sayang dan doa kepada penulis
8. Kepada semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Tesis ini

Sebagai penulis biasa, saya sadar bahwa masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam penulisan Tesis ini, untuk itu penulis dengan senang hati menerima segala kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan dari Tesis ini

Wassalamu'alaikum War.Wab.

Yogyakarta, 8 Maret 2018

Penulis

ABSTRAK

Teknologi produksi arang telah berkembang sejak berabad-abad terdahulu, optimalisasi produksi menyebabkan evolusi yang panjang tungku produksi arang sehingga menghasilkan ratusan model. Ratusan model ini berasal dari evolusi model Eartmound kiln, pit kiln, drum kiln dan retort kiln. Di Indonesia model eartmound kiln dan drum kiln masih disukai karena mudah dan murah tetapi model tungku ini memberikan dampak lingkungan kurang baik dan hasil yang tidak ramah lingkungan, penelitian ini mencoba memberikan solusi dengan mengkombinasikan tiga model eartmound kiln, drum kiln dan retort kiln menjadi model tungku produksi arang berkarakteristik ramah lingkungan dan hasil optimal. Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana rancangan tungku pembuat arang yang diminati masyarakat berbasis ramah lingkungan dan hasil optimal dengan nilai kalor dan kadar air memenuhi syarat SNI yang ramah lingkungan. Rancangan model tungku dengan menggunakan metode partisipatori dan analisa serta pengukuran karakteristik ramah lingkungan nilai kalor dan kadar air produk hasil dengan menggunakan metode *Taguchi*. Dengan melalui partisipasi aktif pengguna terbangun model tungku dengan dimensi: (1)model Cerobong dengan panjang 4-5 m, (2)Konstruksi tempat pembakaran vertikal, (3) penambahan tempat material/keranjang untuk kemudahan pengambilan hasil, debu terkonsentrasi dalam tungku sehingga pekerja tidak terpapar langsung, (4) Tempat inisiasi pembakaran duduk, (5) pengatur udara satu sentral, serta proses karakteristik ramah lingkungan (1)mudah dan murah, (2)aman dan nyaman, (3)efisien dan optimal (4)ramah lingkungan dan kesehatan, (5)produk output green. Eksperimen multi level respon metode *Taguchi* mampu menaikkan kalori yang semula rata-rata 5693 (kalori/gr) menjadi 6489 kalori/gr, naik 795,4 kalori/gr dan menurunkan kadar air yang semula rata-rata 6,735 (%) menjadi 5,704 (%) turun 1,031%. Dapat disimpulkan dengan metode partisipatori didapatkan model tungku dan hasil produk yang berkarakteristik green ergonomi. Nilai kalor dan kadar air memenuhi standar SNI dan syarat komoditas ekspor ke negara Jepang dan Amerika yaitu antara 5000 – 7000 kal/gr.

Kata kunci : *Green ergonomi, eartmound kiln, drum kiln, retort kiln, Taguchi*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Periode arang telah dimulai pada tahun 1840 menjadi bahan bakar utama perindustrian di Amerika (Douglas et al., 2014). Pemakaian bahan bakar arang hingga kini masih diminati kendati bahan bakar subsidi gas LPG sudah merata sampai pelosok desa. Di dunia kuliner bahan bakar arang masih menjadi primadona. Beberapa kuliner yang diproses menggunakan arang antara lain seafood, pizza, kebab, aneka roti bakar dll yang menjadi makanan trend masa kini (Kharie, 2016). Disamping kuliner, arang setelah diaktivasi menjadi arang aktif bermanfaat bagi kesehatan dan industri (Lempang, 2014). Pemrosesan arang lebih lanjut untuk menjadi arang aktif memberikan penambahan nilai ekonomis yang lebih tinggi, jika harga arang sebelum diproses Rp 3.500.-/kg setelah diproses menjadi arang aktif Rp 10.000/kg (Kemendag, 2016)

Arang memiliki manfaat yang cukup luas dan dapat memberikan peluang usaha yang menjanjikan bagi masyarakat. Kegiatan usaha arang ini didaerah tertentu merupakan usaha inti sebagai penopang kehidupan. Beberapa dusun yang telah mengembangkan usaha arang adalah Dusun Gatak I, Desa Ngestirejo, Kecamatan Tanjungsari di Kabupaten Gunungkidul (Istiqomah, 2015), dusun Gedangsari Klaten (Gedangsari, 2013), desa Lewi Malang, Tasikmalaya, Jawa Barat (Berita Daerah, 2014). Arang kayu Indonesia telah diekspor ke Arab Saudi senilai Rp 2,67 Miliar (Kemendag, 2016). Metode pembuatan arang telah berkembang cukup pesat dari tradisional menuju industrial. Tungku produksi arang telah mengalami evolusi cukup panjang dan ada sekitar 25 model dari berbagai negara yang dikelompokkan menjadi 4 jenis tungku yaitu *Earthmound Kiln*, *Pit Kiln*, *Drum Kiln* dan *Retort Kiln* (Emrich, 1985). Berbagai penelitian telah dilakukan dalam pengembangan

pembuatan arang, (Ganesan and Nema, 2006) mendesain tungku bioarang *Drum Kiln* dengan model pengaturan aliran udara. Sedangkan Sumarni dan Purwanti, (2008) mendesain dengan menggunakan *Retort Kiln* untuk mendapatkan kinetika reaksi pembakaran dalam proses pirolisis. Desain tungku kiln untuk program lingkungan sehat dengan mengurangi asap yang di timbulkan (Gomaa and Fathi, 2000). Pada saat ini proses pembuatan arang di daerah–daerah tersebut masih sederhana dan kurang memperhatikan kesehatan dan lingkungan, sehingga perlu sentuhan teknologi untuk mengurangi dampak dari kegiatan pembuatan arang tersebut.

Lokasi penelitian berada di Dusun Dawung, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul. Pemilihan lokasi tersebut karena 50% jumlah penduduk melakukan pekerjaan membuat arang secara tradisional. Dari hasil pengamatan awal di lokasi obyek, proses pembuatan arang menggunakan model *Earthmound Kiln* dan *Drum kiln*. Penggunaan model peralatan ini menurut pekerja memberikan dampak sesak nafas dan pedih di mata karena pekatnya asap saat proses dan debu saat mengambil hasil. Dari observasi dilapangan dan hasil wawancara stakeholder serta pelaku produksi arang tradisional dampak yang terasa nyata di lingkungan adalah asap dan debu, sebaran debu hingga 20 m² sehingga tidak bisa ditanami, limbah debu volume mencapai 15% dari limbah debu total (\pm 30% volume material). Dari polutan asap lingkungan terpapar selama 3 hari, karena proses pengarangan secara tradisional membutuhkan waktu 3 hari. Dampak pada pekerja/pelaku 27,8% merasakan terganggu dan 22,2% pelaku lainnya tidak terlalu memikirkan hal tersebut hanya permulaannya saja saat pembakaran awal, penduduk sekitar produksi 19,7% masa bodoh karena sudah terbiasa dan sekitar 30% terganggu. Proses pembakaran awal sampai terbakar stabil sekitar 2-3 jam kemudian pengawasan 6-8 jam sehingga pelaku mendapatkan paparan polutan selama itu (8 jam). Data dari puskesmas Kecamatan Panggang Gunung Kidul tempat lokasi penelitian bulan Juli 2017 terdapat pasien dengan jumlah 24,3% dengan usia

60-70 thn dengan keluhan sesak nafas merupakan veteran pelaku produksi arang tradisional. Pada umumnya partikel asap dan debu pada pembakaran kayu berukuran antara 0,4-0,7 μm ukuran sama dengan PM 2,5 dan kandungan CO paling banyak, ukuran tersebut bersifat bisa terhirup sampai paru dan mengendap di alveoli yang berakibat mengi, asma, infeksi saluran nafas, bronkitis kronis dan PPOK (Fikri Faisal, et al (2012) ;Permenkes (2012). Karakteristik hasil kurang optimal dengan rendemen 19-23% dengan nilai kalor 5786 kal/gr serta kadar air 6,27% , nilai kalor dan kadar air tersebut masih memberikan polutan asap pada pembakaran arang hasil yang mengganggu pengguna dan lingkungan (Fikri Faisal, et al (2012); Permenkes (2012), Ganesan., Nema (2006); Thatcher, et al (2013); Annis & McConville (1996) ; Manuaba (2000) ; Pheasant., Haselgrave (2006) ; Faizal, M, et al (2014); Siahaan, et al (2013); Rais Salim (2016)). Maka dapat disimpulkan permasalahan yang terjadi adalah karena asap dan debu hal ini disebabkan (1) model tungku yang tidak ramah lingkungan (2) material bahan untuk arang.

Permasalahan diatas bila dipetakan menjadi dua permasalahan pokok :

A. Model Tungku dengan karakteristik :

- a. Tidak ada cerobong asap sehingga asap tersebar hingga 50m, pekerja dan lingkungan terganggu
- b. Tidak ada pengatur udara sehingga susah dikontrol pembakarannya (proses 3-4hari), rendemen tidak optimal 19-23%
- c. Tidak ada tempat pembakaran inisiasi sehingga harus jongkok
- d. Konstruksi tempat pembakaran material tidak terstruktur sehingga debu berterbangan hingga 20m², mengganggu pekerja dan lingkungan

B. Material bahan baku arang yang kurang baik

- a. Hasil dengan kadar air 6,27%
- b. Hasil dengan kalor 5786 kal/gr, sehingga masih memberikan asap yang masih pekat.

Berbagai penelitian terkait dengan *ergonomic* telah banyak dilakukan. Penelitian terdahulu telah banyak merekomendasikan rancangan *berbasis ergonomi* sebagai solusi bagaimana menyelaraskan lingkungan, peralatan/mesin, dan pekerja untuk mendapatkan keadaan maupun kondisi yang nyaman, aman dan sehat untuk menunjang optimalisasi produktivitas. Menurut definisi, *Ergonomic* adalah kemampuan untuk menerapkan informasi mengenai karakter manusia, kapasitas, dan keterbatasan pada rancangan tugas manusia, sistem mesin, ruang hidup, dan lingkungan sehingga orang dapat hidup, bekerja dan bermain dengan aman, nyaman dan efisien (Annis & McConville, 1996 ; Manuaba, 2000 ; Pheasant., Haselgrave, 2006). Sedangkan *Green ergonomi* dihubungkan dengan ramah lingkungan atas mesin produksi, proses, ruang kerja, lingkungan dan output atau produk hasil akhir (Thatcher, et al,2013). Penelitian dengan topik *green ergonomi* yang telah dilakukan, pengukuran beban kerja terhadap hubungan manusia atau pekerja dan lingkungan dengan teknologi mesin produksi yang digunakan di perusahaan *agro industri* pengolahan ikan dan pabrik kerupuk (Mirwan Ushada, et al., 2016). Hubungan antara dimensi dan anatomi tubuh terhadap desain peralatan dan mesin pertanian (Zadry, et al., 2016). Re-disain peralatan cetak untuk peralatan memasak dengan bahan baku aluminium terhadap lingkungan kerja, peningkatan produktivitas, beban kerja dan *musculo-skeletal disorder* atau kelainan otot (Batubara, 2016). Rancangan meja dan kursi dilakukan oleh Yogie Miharja (2011) ;Restantin (2012) ; Hermawan (2011) yang ditujukan untuk meningkatkan kenyamanan pengguna dan produktivitas. Sedangkan rancangan yang berbasis *green* dilakukan oleh Pilar (2014) dan Kraljet,et al., (2013) untuk efisiensi produksi.

Pemilihan model penelitian ini dikarenakan belum pernah ditemukan penelitian pembuatan arang dengan rancangan tungku pembuat arang berbasis *green ergonomi*. Analisa pengukuran eksperimen menggunakan *metode Taguchi* untuk mendapatkan formula proses multi level respon yang optimal dimana output atau hasil dengan karakteristik *green ergonomi* yaitu nilai kalori tinggi dan kadar air rendah. Hasil rancangan diharapkan dapat dijadikan sebagai solusi atas sisi kesehatan dan lingkungan, sehingga tidak membahayakan kesehatan pekerja, lebih ramah lingkungan karena sedikit *polutan*, output proses lebih sedikit asap, murah dan aplikatif bagi masyarakat pedesaan.

Berdasarkan pada permasalahan dan penelitian terdahulu serta studi referensi, maka diusulkan rancangan tungku pembuat arang yang mengkombinasikan model *Eartmound Kiln*, *Drum Kiln* dan *Retort Kiln* berbasis *green ergonomic* dengan parameter ramah lingkungan seperti yang pernah dilakukan oleh Fikri Faisal, et al 2012; Faizal, M., et al 2014; Rais Salim, 2016 polutan debu terkonsentrasi kurang dari 5% volume material awal dan polutan asap tidak boleh lebih dari tiga jam terpapar langsung hasil pembakaran kayu karena partikel asap dan debu pada pembakaran kayu berukuran antara 0,4-0,7 μm ukuran sama dengan PM 2,5 akibatkan gangguan pernafasan (Permenkes, 2012).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah:

- A. Bagaimana rancangan tungku pembuat arang yang diminati masyarakat berbasis ramah lingkungan ?
- B. Bagaimana kriteria material untuk mendapatkan hasil yang optimal

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan permasalahan yang fokus dan tujuan terarah serta hasil optimal diambil batasan sebagai berikut :

- A. Tungku pembuat arang ramah lingkungan dengan polutan asap tidak mengarah ke pekerja dan lingkungan dengan metode partisipasi ergonomi
- B. Material bahan arang kayu jati dan tempurung kelapa yang mendekati bahan ideal untuk mendapatkan hasil yang optimal (berat jenis antara 0.6 s/d 0.7 gr/cm², karbon terikat antara 15 s/d 20 %)
- C. Analisa serta penilaian karakteristik ramah lingkungan dibatasi pada polutan asap yang tidak tersebar kearah lingkungan masyarakat dan pekerja, kualitas hasil berdasar pengukuran nilai kalor dan kadar air dengan metode Taguchi

1.4 Tujuan Khusus

Tujuan penelitian pada permasalahan ini adalah:

- A. Untuk menentukan rancangan tungku pembuat arang yang diminati masyarakat berbasis ramah lingkungan.
- B. Untuk mengukur peningkatan kualitas arang diukur berdasar nilai kalor dan kadar air setelah dilakukan perbaikan rancangan tungku pembuat arang berbasis ramah lingkungan.

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1. Manfaat Teoritis

Memberikan ruang terbuka bagi akademisi untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas hasil penelitian dengan metode yang beda atau kombinasi.

1.5.2. Manfaat Praktis

- A. Memberikan solusi yang baik bagaimana memproduksi arang dengan cara ramah lingkungan, ramah kesehatan serta aman, nyaman dan optimal
- B. Memberikan ruang terbuka bagi akademisi untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas hasil penelitian.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini disusun secara sistematis kedalam beberapa bab, dan masing-masing bab akan diuraikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini memberi penjelasan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Dalam bab ini memberikan penjelasan terperinci mengenai teori-teori yang digunakan sebagai dasar untuk pemecahan masalah. Teori yang digunakan adalah teori mengenai kualitas, pengendalian kualitas, desain eksperimen, Taguchi, dan metode-metode yang akan digunakan dalam pengolahan data. Disamping itu juga dimuat uraian tentang hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang : Rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, ruang lingkup penelitian yang dilakukan, penentuan sumber data, variabel penelitian,

bahan-bahan dan instrumen penelitian yang digunakan, prosedur pelaksanaan penelitian dan cara-cara pengolahan serta analisis data.

BAB IV HASIL PENELITIAN

Dalam bab ini memuat tentang persiapan penelitian, cara pengumpulan data baik dalam bentuk tabel maupun photo, pengumpulan data hasil eksperimen dan pengolahan data hasil eksperimen.

BAB V PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang analisa dan implementasi terhadap pengolahan data, dengan memadukan antara konsep teori dan hasil penelitian.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian akhir yang memuat tentang kesimpulan yang diperoleh dari analisa pemecahan masalah maupun hasil pengumpulan data, serta saran untuk pengguna.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian terdahulu

Tirono dan Sabit (2011) mengamati pengaruh suhu pengarangan terhadap nilai kalori arang tempurung kelapa, dalam pengukuran dihasilkan kesimpulan suhu pengarangan berbanding lurus terhadap penyusutan material dan nilai kalori arang tempurung kelapa. Samsul Bahri (2007) membuat briket arang dari limbah penggergajian kayu dimana kalor yang dihasilkan dari arang briket limbah penggergajian kayu hampir sama dengan produksi briket dari negara Jepang, Inggris dan Amerika, hal penting adalah green activity karena memberikan nilai tambah dari limbah yang dapat mencemari lingkungan. Jati dan Santoso (2005) mengukur nilai kalor bakar arang dari sejumlah jenis kayu dimana kalor dipengaruhi oleh komposisi lignin dan resin dari kayu, dalam penelitian tersebut kayu jati paling tinggi nilai kalornya, optimal lama pirolisis 10 menit. Surono (2010) kadarkarbon terikat dan nilai kalor tertinggi diperoleh pada temperatur karbonisasi 380°C yaitu 52,6% dan 7128,38 kkal/kg. Sehingga disimpulkan makin tinggi suhu karbonasi makin tinggi nilai kalor yang dihasilkan dari arang yang dihasilkan. Gomaa dan Fathi (2000) membuat tungku sederhana proses cepat, efisien, ekonomis dan ramah lingkungan dengan lama proses 12 jam, tanpa mekanik dan elektrik teknis, memberikan hasil arang yang baik, biaya murah dan ramah lingkungan.

2.2 Penelitian rancangan ergonomic

Sebuah studi epidemiologi untuk menentukan penyebab utama cedera di kalangan petani di sembilan desa di negara bagian Haryana di India Utara yang diakibatkan penggunaan peralatan pertanian yang tidak ergonomic (Mohan., Patel, 1992). Aspek

ergonomi pada penggunaan alat-alat olahraga dan aspek keamanan wasit, juri dan penonton di pertandingan olahraga sistem kompetisi (Reilly., Lees, 1984). Sebuah model untuk ergonomi lingkungan disajikan untuk mendefinisikan hubungan manusia-mesin-lingkungan yang tergantung dari faktor fisiologi, perilaku dan efektifitas (Rohles, 1985). Mempersiapkan sumber daya manusia di tempat teknologi tinggi bidang manufaktur berbasis ergonomi untuk menghadapi persaingan global (Mital, A, 1995). Metode *Anthropometric* untuk mendesain baju dan peralatan militer untuk mencapai kepuasan optimal, mengurangi massa total, memaksimalkan gerakan tubuh, integrasi dan kompatibilitas dari berbagai unsur, dan kenyamanan / penerimaan bagi pemakainya (Carr., Wilson., Laing, 2012). Pemilihan material alat pelindung diri dengan karakterisasi sifat khusus material, misalnya nilai ambang pemicu, daya yang dikonsumsi, besarnya dan kualitas respon, daya tahan, dan interaksi dengan tubuh pengguna (Dolez., Mlynarek, 2016)

2.3.Rancangan berbasis green ergonomic

Penelitian perancangan berbasis *ergonomic* sering kali membatasi masalah secara parsial dalam aspek alat dan pengguna, atau alat, manusia dan ruang aktivitas sedangkan *green ergonomic* menurut Thatcher (2013) dalam (Morales., Thatcher., Acosta, 2014) adalah menselerasikan hubungan antara manusia dengan sistem alam. Jika ditilik dari definisi tersebut *green ergonomic* mencakup manusia, peralatan/mesin, aktivitas, ruang aktivitas, output/produk yang dihasilkan dan alam sekitar. Dalam beberapa hal penelitian *green ergonomic* seperti bagaimana mensinergikan *ergo-ecology* dan *green ergonomic* dimana prinsip *ergo-ecology* diberikan sebagai kerangka kerja untuk mengembangkan tindakan analitis atau praktis sementara prinsip-prinsip *green ergonomi* diberikan sebagai pedoman untuk mengusulkan dasar intervensi, tanggung jawab sosial dan lingkungan / tanggung jawab *ecospheric* (Morales., Thatcher., Acosta, 2014). Menganalisis aspek ekologi dan *ergonomi* pada operasi lembaga di kota Moscow dalam gagasan lingkungan dan konsep kota

transformasi masa kini (Yudenkova., Savina, 2015). Sebuah penelitian inti untuk mendapatkan metode konstruksi peralatan yang memenuhi *green ergonomic* dengan menyeimbangkan aspek, kompetensi operator/motivasi, lingkungan, inovasi versus produktivitas, optimasi, otomatisasi, informasi dan pemeliharaan (Naskoudakisa., Petrousatoub, 2016) . Helm perang adalah salah satu alat perlindungan baik dari cedera benturan atau dari tajamnya peluru sehingga konstruksinya harus kuat, hal tersebut memberikan beban berat yang cukup bagi leher dengan konsekuensi cedera jika ada benturan, Samil dan David (2012) mencoba merekonstruksi untuk mendapatkan helm perang yang memenuhi *ergonomi*.

2.4 Arang

Bahan padat berpori dari hasil pembakaran dengan suhu tinggi dengan proses karbonisasi, yaitu proses pembakaran tidak sempurna sehingga bahan hanya terkarbonisasi tidak teroksidasi (Siahaan, 2013); (Nabawiyah., Abthoki, 2010); (Triono, 2006); (Perez., Nunez., Lewis., Kruger., Kantor, 2012). Menurut Abdullah dalam Ndraha(2009) arang adalah hasil penguraian biomassa (lysis) menjadi panas (pyro) pada suhu lebih dari 150°C. *Biomassa* didefinisikan sebagai limbah yang berasal dari makhluk hidup terutama material tanaman, tumbuh-tumbuhan, atau sisa hasil pertanian (Ndraha, 2009); (Wijaya, 2015). Sedangkan menurut Silalahi dalam (Ndraha, 2009) biomassa adalah material *organik* yang kompleks, terdiri dari karbohidrat, lemak, protein dan beberapa mineral lain yang jumlahnya sedikit seperti sodium, fosfor, kalsium dan besi. Secara umum kualitas arang dikatakan baik jika mempunyai ciri-ciri sbb (Samsul Bahri, 2007):

- A. Warna hitam dengan nyala kebiru-biruan
- B. Mengkilap pada pecahannya
- C. Tidak mengotori tangan

- D. Terbakar dengan banyak asap
- E. Dapat menyala terus dengan tidak dikipasi
- F. Tidak terlalu cepat terbakar
- G. Berdenting seperti logam

Penilaian arang kayu didasarkan atas ukuran dan sifat fisik, warna, bunyi, nyala, kekerasan, berat jenis, nilai kalor, kadar air, kadar abu, karbon terikat dan kadar zat mudah menguap.

2.5 Proses Pembuatan Arang

Proses pembuatan arang secara sederhana adalah dengan cara memanasi langsung atau tidak langsung bahan berkarbon didalam timbunan, oven, kiln atau udara terbuka (Wijayanti, 2009). Arang dibuat oleh transformasi termal dari materi biologis, terutama biomassa (Anderson., McLaughlin, 2009). Transformasi thermal dengan cara pembakaran tidak sempurna di bawah sistem terkontrol pasokan udara bahan biomassa. Dalam proses ini, semua zat mudah menguap dalam *biomassa* diuapkan dan hanya karbon, dan kuantitas kecil abu, dipertahankan(Ganesan., Nema, 2006).

2.5.1 Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik dari bahan yang menunjukkan banyaknya air yang terkandung di dalam bahan. Kadar air biasanya dinyatakan dengan persentase berat air terhadap bahan basah atau dalam gram air untuk setiap 100 gram bahan yang disebut dengan kadar air basis basah (bb). Berat bahan kering atau padatan adalah berat bahan setelah mengalami pemanasan beberapa waktu tertentu sehingga beratnya tetap atau konstan(Agus M.Hani, 2012). Kadar air yang tinggi berperan penting untuk pemakaian bahan bakar yang menghasilkan jumlah sisa gas yang besar (Erna Yuliwati, 2014).

2.5.2 Nilai Kalor

Jumlah panas yang dihasilkan atau yang ditimbulkan oleh satu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gram air dari 3,50-4,50 °C dengan satuan kalori (Tirono, 2011). Nilai kalor kayu dipengaruhi oleh berat jenis kayu, kadar air, dan komposisi kimia kayu, semakin tinggi kadar air semakin rendah nilai kalornya (Arif Rahmatullah ,2014; Erna Yuliwati, 2014).

2.5.3 Polusi

Pengertian Polusi adalah terjadinya pencemaran lingkungan yang mengakibatkan menurunnya kualitas lingkungan dan terganggunya kesehatan serta ketenangan hidup makhluk hidup termasuk manusia(Fikri Faisal, et al, 2021 ;Permenkes, 2012). Pencemaran udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti (Permenkes No.289 Tahun 2013).

2.5.3.1 Polutan asap

Asap merupakan perpaduan atau campuran karbon dioksida, air, zat yang terdifusi di udara, zat partikulat, hidrokarbon, zat kimia organik, nitrogen oksida dan mineral. Komposisi asap tergantung dari banyak faktor, yaitu jenis bahan pembakar, kelembaban (kadar air), temperatur api, kondisi angin, dan hal lain. Apabila pembakaran dilakukan dengan oksigen cukup hasilnya berupa uap air, gas asam arang dan abu. (Permenkes No.289 Tahun 2013; Arif Rahmatullah ,2014; Erna Yuliwati, 2014)

2.5.3.2 Polutan debu

Debu adalah zat kimia padat, yang disebabkan oleh kekuatan-kekuatan alami atau mekanis seperti pengolahan, penghancuran, pelembutan, pengepakan yang cepat, peledakan, dan lain-lain dari benda, baik organik maupun anorganik (Suma'mur, 2013). Menurut Departemen Kesehatan RI (2003) debu ialah partikel-partikel kecil yang dihasilkan oleh proses mekanis. Ukuran debu diindikasikan dengan akibat yang ditimbulkan berdasar penyakit pada saluran pernafasan hingga komplikasinya (Permenkes No.289 Tahun 2013).

2.5.4. Tahapan proses pengarangan

Secara singkat proses tahapan karbonisasi/pengarangan menurut Griffioen (1950) dalam Bahri (2007) adalah sbb :

- A. 150-200°C Air dalam bahan baku dilepaskan bersama dengan gas CO dan CO₂ dalam jumlah kecil. Bahan baku kayu baru mengandung 50% karbon.
- B. 200-300°C Pembentukan gas CO dan CO₂ serta penyulingan terhadap asam asetat, asam format, dan methanol dimulai. Arang mulai berwarna coklat tua dan kandungan karbon mencapai 70%.
- C. 300-400°C Disamping pembentukan gas, dijumpai sejumlah kecil senyawa dari hidro karbon reaksi berjalan secara eksoterm. Penyulingan asam asetat dan methanol terus terjadi dan sudah mulai terpisah ter yang berwarna coklat. Arang mulai keras dan berwarna hitam dengan kandungan karbon mencapai 80%.
- D. 400-500°C Gas terbentuk dalam jumlah besar, terutama terdiri dari senyawa hidrokarbon dengan molekul CO dan CO₂, juga terpisah ter yang berwarna gelap. Destilat lain hampir tidak terbentuk lagi. Kandungan karbon mencapai 85% dan arang sudah mulai berwarna hitam pekat agak keras.

E. Diatas 500°C Pembentukan ter diteruskan. Gas hydrogen makin bertambah, terbentuknya kadarkarbon mencapai 90%.

F. Diatas 700°C Secara praktis hanyalah terbentuk gas hidrogen.

Karbonasi/Pirolisis adalah dekomposisi termal bahan karbon dengan mengurangi atau mengatur keberadaan oksigen dengan hasil akhir : (1) Gas: gas yang tak terkondensasi seperti karbondioksida, karbon monoksida, hidrogen, (2) Padat : campuran senyawa anorganik (abu) dan bahan karbon /arang, (3) Cair : campuran air dan senyawa organik yang dikenal sebagai bio-minyak hasil kondensasi dari uap pirolisis dan aerosol (asap) (Sinha., Jhalani., Ravi., Ray, 2000); (Sumarni., Purwanti, 2008); (Mohan., Pittman., Steele, 2005)

2.6 Kualitas

Kualitas didefinisikan sebagai keseluruhan ciri serta sifat barang dan jasa yang berpengaruh pada kemampuan memenuhi kebutuhan yang dinyatakan maupun yang tersirat (Kotler, 2009). Kualitas juga didefinisikan sebagai (1)fitur-fitur produk yang memenuhi kebutuhan pelanggan dan dengan demikian memberikan kepuasan pelanggan. (2)Kualitas" berarti kebebasan dari kesalahan yang membutuhkan pekerjaan lagi (ulang) atau yang menghasilkan kegagalan lapangan, ketidakpuasan pelanggan, klaim pelanggan, dan sebagainya (Juran.,1998,2004). Berikut adalah kualitas yang dikemukakan oleh para ahli (Suardi, 2003)adalah :

A. Philip B. Crosby

Crosby berpendapat bahwa mutu/kualitas berarti kesesuaian terhadap persyaratan, Crosby juga mengemukakan pentingnya melibatkan setiap orang pada proses dalam organisasi. Pendekatan Crosby merupakan proses *top down*.

B. W.Edward Deming

Deming berpendapat bahwa kualitas berarti pemecahan masalah untuk mencapai penyempurnaan terus menerus, seperti penerapan *kaizen* di Toyota dan gugus kendali mutu, pendekatan Deming merupakan *bottom up*.

C. Joseph M. Juran

Juran berpendapat bahwa kualitas berarti kesesuaian dengan penggunaan, pendekatan Juran merupakan orientasi pada upaya pemenuhan harapan pelanggan.

D. K. Ishikawa

Ishikawa berpendapat bahwa kualitas berarti kepuasan pelanggan, dengan demikian setiap bagian proses dalam organisasi memiliki pelanggan. Kepuasan pelanggan internal akan menyebabkan kepuasan pelanggan organisasi.

E. ISO

Kualitas menurut ISO didefinisikan sebagai derajat atau tingkat karakteristik yang melekat pada produk yang mencukupi persyaratan atau keinginan. Arti derajat/tingkat menggambarkan bahwa selalu terdapat peningkatan disetiap saat.

Kualitas arang telah distandarisasi SNI maupun berdasar kualitas yang disyaratkan oleh negara lain seperti Jepang, Amerika, Inggris yang sering menggunakan produk arang.

Dibawah ini tabel kriteria kualitas dari produk arang briket.

Tabel 2.1 Standarisasi briket arang (SNI 01- 6235-2000)

No	Standarisasi	Nilai
1	Kadar Air	Maksimal 8 %
2	Kadar <i>volatile matter</i>	Maksimal 15 %
3	Kadar abu	Maksimal 8 %
4	Nilai kalor	Minimal 5000 kal/g

(Sumber : Sudiro, 2014)

Tabel 2.2 Sifat fisik dan kimia briket arang buatan Jepang, Amerika, Inggris dan Indonesia
(Badan Litbang Kehutanan, 1994)

Sifat	Jepang	Amerika	Inggris	Indonesia
Kadar Air (%)	6 – 8	6,2	3,6	7,57
Kadar Abu (%)	3 – 6	8,3	5,9	5,51
Kadar Zat Menguap/terbang (%)	15 – 30	19-28	16,4	16,14
Kadar Karbon terikat (%)	60 – 80	60	75,3	78,35
Kerapatan (g/cm ³)	10 – 12	1	0,48	0,4407
Keteguhan Tekanan (kg/cm ²)	60 - 65	62	12,7	-
Nilai Kalor (kal/g)	6.000 – 7.000	6.230	7.289	6.914,11

(Sumber : Badan Litbang Kehutanan, 1994 dalam Sudiro, 2014)

2.6.1 Pengendalian Kualitas

Pengendalian kualitas dapat diartikan sebagai proses pengukuran yang dilakukan selama perancangan produk atau proses. Kerangka dasar dari pengendalian kualitas merupakan suatu hubungan antara dua disiplin ilmu yaitu teknik perancangan dan manufaktur, dimana mencakup seluruh aktivitas pengendalian kualitas dalam setiap fase dari penelitian dan pengembangan produk, perancangan proses, perencanaan produksi, dan kepuasan konsumen. Target dari pengendalian kualitas adalah untuk mencapai seluruh target dari perbaikan terus menerus, penemuan yang dipercepat, penyelesaian masalah dengan cepat, dan efektivitas biaya dalam meningkatkan kualitas produk. Pengendalian kualitas dapat dibedakan menjadi 2 bagian, yaitu pengendalian kualitas secara *off-line* dan pengendalian kualitas secara *on-line* (Soejanto, 2009).

A. Pengendalian Kualitas secara *off-line*

Dalam pengendalian kualitas secara *off-line*, disain eksperimen merupakan peralatan yang sangat penting, dimana dengan mendesain suatu eksperimen kita lebih bisa mengidentifikasi sumber dari variasi, menentukan perancangan dan proses yang optimal. Pengendalian kualitas secara *off-line* dibagi menjadi 3 tahap (Belavendram, 1995), yaitu :

a. Perancangan Sistem (*Primary design*)

Tahap perancangan fungsional yang berfokus pada teknologi yang bersangkutan. Perancangan sistem membutuhkan pengetahuan teknis dan pengalaman yang luas untuk dapat merancang atau menentukan proses atau produk. Tahap perancangan sistem

berfungsi untuk dapat meyakinkan konsumen akan kualitas produk dan mendapatkan suara konsumen. Dengan kemampuan daya cipta dan kemampuan teknis untuk merancang konsep proses awal atau produk yang berkualitas sesuai dengan keinginan konsumen. Tahap ini merupakan tahap pemunculan ide dalam kegiatan.

b. Perancangan Parameter (*Secondary design*)

Berfungsi untuk mengurangi biaya produksi dan meningkatkan kualitas produk, mengoptimisasi level dari faktor pengendali terhadap efek yang ditimbulkan oleh faktor noise sehingga produk yang dihasilkan dapat kokoh/tangguh. Oleh sebab itu perancangan parameter dapat juga disebut sebagai perancangan kokoh.

c. Perancangan Toleransi (*Tertiary design*)

Dilakukan dengan menggunakan matriks *orthogonal*, fungsi kerugian, dan analisis varians untuk menyeimbangkan biaya dan kualitas produk dari suatu produk.

B. Pengendalian Kualitas Secara *on-line*

Merupakan suatu aktivitas untuk mengamati dan mengendalikan kualitas pada setiap proses produksi secara langsung. Aktivitas ini sangat penting dalam menjaga agar biaya produksi menjadi rendah dan secara langsung pula dapat meningkatkan kualitas produk. Pengendalian kualitas secara *on-line* ini juga dapat mengontrol mesin-mesin produksi sehingga dapat mencegah terjadinya kerusakan pada mesin-mesin tersebut.

2.6.2 Klasifikasi Karakteristik Kualitas

Klasifikasi kualitas adalah obyek yang penting dan harus diperhatikan dari suatu produk atau proses, disebut juga karakteristik fungsional. Secara umum setiap karakteristik kualitas pasti mempunyai target dan ada tiga tipe target yaitu :

A. Nominal the best

Adalah karakteristik kualitas yang diukur berdasarkan nilai target yang telah ditentukan secara spesifik, contohnya adalah nilai kadar karbon hasil (arang)

B. Smaller the better

Adalah karakteristik kualitas yang nilai nya semakin kecil akan semakin baik dengan target mendekati nol, contohnya kadar air arang hasil

C. Larger the better

Adalah karakteristik kualitas yang nilainya semakin besar akan semakin baik dengan target adalah tidak terbatas (*infinity*), contohnya adalah kalori hasil

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik kualitas (variabel respon) suatu produk dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Faktor Gangguan adalah parameter yang menyebabkan penyimpangan karakteristik kualitas dari target disebut faktor gangguan, yang dapat mempunyai sifat tak terkendali dan terprediksi berpengaruh pada karakteristik kualitas
- b. Faktor Kontrol

Adalah parameter yang nilainya dapat dikendalikan oleh *engineer design*. Faktor kontrol dapat mengambil satu atau lebih nilai yang disebut level faktor. Faktor akhir eksperimen, level faktor kontrol yang sesuai akan dipilih. Salah satu aspek *robust design* adalah mencari setting level optimal dari faktor-faktor kontrol agar karakteristik kualitas tidak terpengaruh oleh noise
- c. Faktor Signal

Adalah faktor-faktor yang dapat mengubah nilai karakteristik kualitas yang akan diukur. Nilai faktor signal dapat konstan yang disebut karakteristik statis ataupun memiliki beberapa nilai yang disebut karakteristik dinamis.
- d. Faktor Scaling

Adalah faktor yang digunakan untuk menggeser level rata-rata karakteristik kualitas untuk mencapai hubungan fungsional antara faktor signal dan karakteristik kualitas, sering disebut sebagai faktor pengaturan.
- e. Faktor Kendali

Faktor yang ditetapkan atau dapat dikendalikan oleh produsen selama tahap perencanaan produk.
- f. Faktor Noise

Faktor yang tidak dapat dikendalikan langsung oleh produsen

Pemilihan jumlah level penting artinya untuk ketelitian hasil eksperimen dan biaya pelaksanaan eksperimen. Semakin banyak levelnya yang diteliti maka hasil eksperimen akan lebih teliti karena data yang diperoleh lebih banyak, tetapi banyaknya level juga meningkatkan biaya eksperimen.

2.7 Desain Eksperimen

Suatu perencanaan percobaan secara serentak terhadap dua atau lebih faktor (parameter) untuk mempengaruhi rata-rata atau variabilitas hasil gabungan dari karakteristik produk atau proses tertentu. Tujuan dari eksperimen adalah memahami bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi suatu produk atau proses dan selanjutnya harus diambil keputusan berkaitan dengan parameter yang mempengaruhi performansi suatu produk atau proses. Dikenal dua macam desain eksperimen yaitu desain eksperimen *konvensional* dan desain eksperimen *Taguchi*

2.7.1 Desain Eksperimen Taguchi

Desain Taguchi merupakan suatu metodologi bidang teknik yang diperkenalkan pertama kali oleh Dr.Genichi Taguchi dan bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses dalam waktu bersamaan menekan biaya dan sumber daya seminimal mungkin. Dalam metode Taguchi digunakan matrik yang disebut *Orthogonal array* untuk menentukan jumlah eksperimen minimal yang dapat memberi informasi sebanyak mungkin semua faktor yang mempengaruhi parameter. Bagian terpenting dari *Orthogonal array* terletak pada kombinasi level dari variabel-variabel input masing-masing eksperimen. Filosofi Taguchi terhadap kualitas terdiri dari tiga buah konsep yaitu :

- A. Kualitas harus didesain kedalam produk dan bukan sekedar memeriksanya, kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target
- B. Produk harus didesain sehingga robust (tahan) terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol
- C. Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standart tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem,

Tujuan dari pengembangan proses atau produk adalah untuk meningkatkan kemampuan karakteristik produk dalam memenuhi harapan konsumen, sehingga dapat dipahami bahwa tujuan dilakukan eksperimen adalah untuk mengetahui bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi produk dalam suatu proses produksi, dengan mengatur rata-rata dan mengurangi variasi maka

kerugian akibat produk atau proses dapat diminimalkan (Ross, 1996). Dalam proses manufaktur tujuan dilakukan desain eksperimen adalah untuk mencari cara meminimalkan penyimpangan karakteristik kualitas target. Yaitu dengan mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh, selanjutnya mengubah level faktor tersebut sehingga didapat kombinasi yang memberikan hasil optimal.

Dalam mendisain suatu eksperimen, Taguchi menggunakan pendekatan *Robust Design* yaitu suatu metode untuk meningkatkan produktivitas selama riset dan pengembangan sehingga produk berkualitas tinggi dapat diproduksi secara cepat dengan biaya rendah. *Robust design* memusatkan perhatiannya pada masalah desain proses suatu produk (Belavendram, 1995) :

- a. Bagaimana mengurangi variasi fungsi produk pada lingkungan konsumen secara ekonomis
- b. Bagaimana memastikan keputusan pada saat eksperimen akan terbukti juga pada proses manufaktur dan lingkungan konsumen.

Menurut Taguchi adanya variabilitas pada fungsi produk disebabkan oleh suatu faktor yang disebut dengan faktor *noise*, ada tiga faktor *noise*, diantaranya :

a. *External Noise*

Adalah faktor-faktor pada lingkungan atau kondisi penggunaan yang mempengaruhi kualitas produk, seperti : suhu, kelembaban, debu, getaran dan human error dalam proses produksi

b. *Internal Noise*

Adalah faktor-faktor yang menyebabkan produk memburuk selama penyimpanan atau sudah aus karena penggunaan yang sudah lama sehingga sudah tidak mampu lagi mencapai fungsi target.

c. *Unit to Unit Noise*

Adalah faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan antara masing-masing produk yang telah diproduksi pada spesifikasi yang sama. Perbedaan ini tak terhindarkan dalam proses manufaktur dan mengarah ke variasi parameter dari unit ke unit yang lain.

Produk yang membuat karakteristik kualitas lebih kokoh (*robust*) terhadap noise (Belavendram, 1995), untuk mengetahui cara mmengurangi efek dari noise ada tiga tahapan penting dalam robust design yaitu :

a. Disain Sistem

Tahap yang fokus pada masalah teknologi , konsep, ide, maupun metode baru dikembangkan untuk menghasilkan produk baru atau produk yang lebih baik lagi bagi konsumen. Ini adalah tahap penting bagi perusahaan untuk tetap kompetitif ekonomi global dan menjadi leader pasar.

b. Disain Parameter

Penting untuk meningkatkan keseragaman produk tanpa menghabiskan biaya. Menggunakan suatu metode desain eksperimen untuk menentukan kombinasi level parameter yang dapat mengurangi efek noise.

c. Disain Toleransi

Bertujuan untuk meningkatkan kualitas dengan menyempitkan toleransi pada proses atau parameter produk untuk mengurangi variasi. Pada tahap ini berusaha mengontrol faktor-faktor noise yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen yang lebih tinggi tingkatnya yang berakibat meningkatnya biaya, dalam hal ini dilakukan jika disain parameter tidak memberikan hasil yang memuaskan.

2.7.1.1 Fungsi Kerugian Kualitas (*quality loss function*)

Kunci keberhasilan suatu perusahaan terletak pada perusahaan itu sendiri dalam memenuhi kepuasan pelanggannya atas kualitas, biaya, dan waktu penyerahan. Fungsi kerugian mutu bertujuan untuk mengidentifikasi dan menghitung kerugian mutu yang terjadi, meliputi kerugian biaya kehilangan peluang (*opportunity cost*), biaya garansi (*warranty cost*), biaya pelayanan(*service cost*), biaya inspeksi kedalam (*inspection cost*), biaya pengerjaan kembali (*rework cost*), biaya sisa produksi (*scrap cost*), maupun biaya complain. Untuk mengetahui besarnya kerugian akibat dari produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, salah satu cara adalah dengan melakukan pengukuran fungsi rugi kualitas (QLF). Fungsi kerugian mutu dapat ditunjukkan dalam rumus sederhana yaitu :

$$L(y)=k.D.....(2.1)$$

$L(y)$ = kerugian

k = konstanta

D = deviasi kuadrat dari nilai target

Bila mutu suatu produk semakin dekat dengan nilai target, maka mutu yang dihasilkan semakin baik dan kerugian yang dirasakan semakin kecil, semakin jauh dari nilai target maka kerugian akan semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan dengan kuadratik los function yang dipelopori oleh Taguchi. Taguchi menggolongkan fungsi kerugian kuadratik menjadi tiga jenis yaitu :

A. *Nominal The Best*

Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutu mempunyai nilai target tertentu, biasanya bukan nol dan kerugian mutunya simetrik pada kedua sisi target. Persamaan fungsi kerugian mutu kuadratik jenis ini dirumuskan sebagai berikut :

$$L_{ij} = k \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n_i} (y_{ijk} - m)^2(2.2)$$

Dimana :

y = nilai respon dari karakteristk mutu

m = nilai target dari karakteristik mutu

k = koefisien biaya

B. *Smaller The Better*

Jenis ini digunakan bilamana karakteristik mutunya tidak negatif, idealnya nol dan dirumuska sebagai berikut :

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_i} y^2_{ijk}(2.3)$$

C. *Larger The Better*

Fungsi ini digunakan bilamana karaktristik mutu yang dituju semakin besar nilai semakin baik (misalnya keandalan, kekuatan) dan dirumuskan sebagai beriktu :

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_1} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Fungsi kerugian mutu ini dapat ditransformasikan menjadi nilai *signal to noise ratio* (SNR) mutu produk atau proses akan semakin baik jika nilai SNR semakin tinggi. Taguchi menggunakan SNR sebagai alat utama untuk menentukan rancangan parameter yang optimal.

2.7.1.2 Derajat Bebas

Derajat bebas adalah jumlah perbandingan yang mungkin (*fair comparison*) dilakukan pada suatu set data. Nilai derajat bebas dari suatu faktor (Va) adalah sama dengan jumlah level faktor dikurangi dengan satu (Va = jumlah level-1), sedangkan dalam suatu eksperimen yang dibuat berdasarkan Orthogonal array memiliki darajat bebas sama dengan jumlah eksperimen dikurangi satu (Voa = jumlah eksperimen - 1) (Belavendram, 1995).

A. Penentuan derajat bebas berdasarkan pada :

- a) Jumlah faktor utama yang diamati dan interaksi yang diambil
- b) Jumlah level dari faktor yang diamati
- c) Resolusi percobaan yang diinginkan

B. Menghitung *degree of freedom* (df) dengan cara :

a). *Degree of freedom total* (dft)

$$dft = N - 1 \dots\dots\dots(2.5)$$

b). *Degree of freedom satu faktor* (df λ)

$$df\lambda = k\lambda - 1 \dots\dots\dots(2.6)$$

c). *Degree of freedom error* (dfe)

$$Dfe = dft - df \text{ faktor} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.7.1.3 Orthogonal array dan Matriks Eksperimen

Matriks adalah susunan angka-angka yang mempunyai arti khusus, matriks ekpserimen terdiri dari atas beberapa eksperimen, dimana faktor dan levelnya berubah sesuai matriks. Faktor dan level faktor menunjukan seting dari berbagai parameter proses atau produk yang akan dipelajari. Robust

design menggunakan matriks khusus yang disebut *Orthogonal array* dimana efek dari beberapa parameter dapat ditentukan secara efisien (Belavendram, 1995).

Orthogonal array adalah sebuah matriks dari angka-angka yang disusun kedalam baris dan kolom. Tiap kolom mewakili faktor didalam suatu eksperimen dan tiap baris menunjukkan keadaan suatu faktor dalam suatu eksperimen. Susunan matriks ini dikatakan orthogonal karena level-level dari berbagai faktor berada dalam keadaan seimbang, dan tiap faktor dapat dievaluasi secara terpisah (independen) dari faktor lainnya. Sehingga *Orthogonal array* adalah sebuah matriks seimbang dari faktor dan level faktor, dimana efek suatu faktor tidak mengganggu efek faktor lainnya.

Informasi tentang *Orthogonal array* dapat diketahui dari namanya. Sebuah *Orthogonal array* dilambangkan dengan huruf L besar yang memiliki informasi sebagai berikut :

A. Notasi L

Menunjukkan bahwa informasi didasarkan pada aturan latin Square, yaitu matriks bujur sangkar dari faktor dengan efek tiap faktor yang dapat dipisahkan.

B. Nomor Baris

Menunjukkan jumlah eksperimen dibutuhkan saat menggunakan *Orthogonal array*

C. Nomor Kolom

Menunjukkan jumlah faktor yang dipelajari

D. Nomor Level

Menunjukkan jumlah dari level tiap faktor

Agar dapat menentukan matriks orthogonal yang sesuai dengan eksperimen, perlu dilakukan prosedur sebagai berikut :

a) Definisikan jumlah faktor dan levelnya

Tahap pendefinisian jumlah faktor dan level nya dilakukan dengan melakukan pengamatan terhadap parameter-parameter yang terdapat pada suatu proses produksi atau suatu mesin proses produksi. Dari parameter-parameter yang diketahui, dilakukan penentuan level pengamatan untuk tiap faktor yang ada, sehingga memudahkan dalam melakukan pengamatan

b) Tentukan derajat kebebasan

Derajat kebebasan adalah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Bentuk persamaan umum dari derajat kebebasan matriks orthogonal (*Orthogonal array*). Dalam menentukan jumlah eksperimen yang akan diamati adalah sebagai berikut :

$V_{oa} = \text{banyaknya eksperimen} - 1$

Derajat kebebasan faktor-faktor dan level , $V_{fl} = \text{banyaknya level} - 1$

Derajat kebebasan error , $V_e = dft - df \text{ faktor}$

c) Memilih matriks Orthogonal

Dalam memilih matriks Orthogonal yang cocok atau sesuai diperlukan suatu persamaan dari matriks orthogonal tersebut yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah pengamatan yang dilakukan. Bentuk umum dari model matriks orthogonal adalah :

$$L_a(b^c) \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

L = rancangan bujur sangkar latin

a = banyaknya baris/eksperimen

b = banyaknya level

c = banyaknya kolom/faktor

Untuk dua level, tabel OA terdiri dari L_4 , L_8 , L_{12} , L_{16} dan L_{20} , sedangkan untuk tiga level OA terdiri dari L_9 , L_{15} dan L_{27} . Pemilihan jenis tabel *Orthogonal array* yang akan digunakan pada percobaan didasarkan pada jumlah derajat bebas total. Jumlah masing-masing percobaan yang dapat dilakukan dengan menggunakan metode Taguchi adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Tabel *Orthogonal array* untuk setiap level yang ada

2 Tingkat	3 Tingkat	4 Tingkat	5 tingkat	campuran
$L_4(2^3)$	$L_9(3^4)$	$L_{16}(4^3)$	$L_{25}(5^6)$	$L_{15}(2^1 \times 3^7)$
$L_8(2^7)$	$L_{27}(3^{13})$	$L_{64}(4^{21})$		$L_{32}(2^3 \times 4^9)$
$L_{12}(2^{11})$	$L_{81}(3^{40})$			$L_{36}(2^{11} \times 3^{12})$
$L_{16}(2^{15})$				$L_{36}(2^3 \times 3^{13})$
$L_{32}(2^{31})$				$L_{54}(2^3 \times 3^{23})$
$L_{64}(2^{63})$				$L_{50}(2^3 \times 5^{11})$

Sumber : Belavandram, 1995

2.7.1.4 Rasio Signal to Nose (SNR)

SNR (Rasio Signal to Nose) adalah logaritma dari fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk, ada beberapa jenis SNR yaitu :

- A. Smaller-the-Better (STB)

$$SNR_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \dots\dots\dots(2.9)$$

- B. Large-the-Better (LTB)

$$SNR_{LTB} = -\log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots\dots\dots(2.10)$$

- C. Nominal-the-Better (NTB)

$$SNR_{NTB} = 10 \log \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan :

n = jumlah tes dalam percobaan (trial)

Yi = nilai respon tiap replikasi

2.8 Uji Normalitas dan Uji Homogenitas

Uji Normalitas adalah suatu bentuk pengujian tentang kenormalan distribusi data, sedang uji Homogenitas adalah suatu bentuk pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah sampel data berasal dari varians yang homogen

2.8.1 Uji Normalitas

Distribusi normal merupakan distribusi teoritis dari variabel random yang kontinyu. Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss (*Gaussian Distribution*) sesuai dengan nama penemunya Carl Gauss yang telah banyak menyelidiki hal ini pada akhir abad 18 disamping penyelidik pertama Pierre Laplace dan Abraham de Moivre (sudjana, 1997). Pengujian ini untuk mengetahui apakah distribusi frekuensi hasil pengamatan sesuai dengan *expected normal curve frequencies* dengan menggunakan *chi-square distribution*. Uji kebaikan sesuai antara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(oi - ei)^2}{ei} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan : oi = frekuensi teramati

ei = frekuensi harapan bagi sel ke-i

Didalam melakukan uji normalitas data langkah-langkah yang dilakukan adalah :

A. Menentukan Hipotesis

Ho : data berdistribusi normal/diterima (X^2 hitung $<$ X^2 tabel)

Hi : data tidak berdistribusi normal/ditolak (X^2 hitung \geq X^2 tabel)

B. Membuat daftar distribusi frekuensi

a). Menentukan rentang (R)

R = data tertinggi – data terendah

b). Menentukan jumlah kelas interval dengan aturan *Sturges*

$$k = 1 + 3,32 \log n$$

c). Menentukan panjang kelas interval *p*

$$p = R/k$$

d). Menyusun tabel distribusi frekuensi

2.8.2 Uji Homogenitas Variansi

Salah satu cara untuk menguji homogenitas *k* buah ($k \geq 2$) variansi populasi yang berdistribusi normal adalah dengan menggunakan *uji Barlett*. *Uji Bartlett* digunakan untuk menguji apakah *k* sampel berasal dari populasi dengan varians yang sama. *k* sampel bisa berapa saja. karena biasanya *uji bartlett* digunakan untuk menguji sampel/kelompok yang mempunyai lebih dari 2 Varians yang sama di seluruh sampel disebut homoscedasticity atau homogenitas varians, Uji Bartlett meliputi :

A. Menentukan hipotesis

Ho : data homogen/diterima ($X^2 \text{ hitung} < X^2 \text{ tabel}$)

Hi : data tidak homogen/ditolak ($X^2 \text{ hitung} \geq X^2 \text{ tabel}$)

B. Membuat tabel penolong uji Bartlett

S_i^2 = nilai ragam perlakuan ke-*i*

$$S_i^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^t Y_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^t \frac{Y_{ij}}{n} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.14)$$

C. Menghitung variansi gabungan dari semua sampel (S^2) hit $\geq X^2$

$$S^2 = \frac{\sum (n_i - 1) S_i^2}{\sum (n_i - 1)} \dots\dots\dots(2.15)$$

S^2 = varian gabungan dari semua sampel dengan taraf nyata α , hipotesis ditolak jika $X^2 \text{ hit} > X^2 (1-\alpha)$, dimana $X^2 (1-\alpha)$ didapat dari tabel distribusi Chi-kuadrat dengan tingkat kepercayaan $(1-\alpha)$ dan $(dk) = k - 1$

D. Menghitung harga satuan B

$$B = (\log S^2) (n1-1) \dots \dots \dots (2.16)$$

E. Menghitung X^2 hitung

$$X^2 \text{ hit} = (\ln 10) \{B - (n1-1) \log S_i^2\} \dots \dots \dots (2.17)$$

F. Menetapkan taraf signifikansi, $\alpha = 5\%$ atau 0,05

G. Menetapkan kriteria pengujian :

H_0 : data berdistribusi normal/diterima (X^2 hitung $< X^2$ tabel)

H_1 : data tidak berdistribusi normal/ditolak (X^2 hitung $\geq X^2$ tabel)

2.9 Analysis of Variance (ANOVA)

Anova digunakan sebagai alat analisis untuk menguji hipotesis penelitian yang mana menilai adakah perbedaan rerata antara kelompok. Hasil akhir dari analisis *ANOVA* adalah nilai F test atau F hitung. Nilai F Hitung ini yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai pada tabel f. Langkah-langkah perhitungan dalam analisis variansi multifaktor adalah sebagai berikut (Mayasari, et al. 2014):

A. Menghitung harga-harga *Sum of Square (SS)* atau jumlah kuadrat (*JK*)

a). *Total Sum of Square (SST)* atau jumlah kuadrat total

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij}^2 \right] - CF \dots \dots \dots (2.18)$$

$$CF = \text{Correction Factor} = T^2/N \dots \dots \dots (2.19)$$

$$T = \sum_{i=1}^N Y_i^2 \dots \dots \dots (2.20)$$

T = jumlah hasil seluruh pengamatan

N = jumlah pengamatan

b) *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk suatu faktor, misal faktor A

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{A_i^2}{n_{Ai}} \right) \right] - CF \dots\dots\dots(2.21)$$

SS_A = *Sum of Square* faktor A

A_i = jumlah nilai pengamatan di bawah level ke-i faktor A

n_{Ai} = banyaknya data pengamatan di bawah level ke-i faktor A

A_i^2 = rata-rata nilai pengamatan di bawah level ke-i faktor A

k_A = banyaknya level faktor A

c) *Sum of Square error* atau jumlah kuadrat kesalahan

$$SS_e = SST - SSA - SSB - SS_{interaksi} \dots\dots\dots(2.22)$$

B. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a) *degree of freedom* total (df) dirumuskan dengan :

$$df = N-1 \dots\dots\dots(2.23)$$

b) *degree of freedom* faktor A dirumuskan dengan :

$$df_A = k_A - 1 \dots\dots\dots(2.24)$$

c) *degree of freedom error* (dfe) dirumuskan dengan :

$$dfe = df - df \text{ faktor} - df \text{ interaksi} \dots\dots\dots(2.25)$$

C. Menghitung *mean of square* (MS) dengan rumus :

$$MS_A = SS_A / V_A \dots\dots\dots(2.26)$$

SS_A = *Sum of Square* faktor A

V_A = Derajat bebas faktor A = $k_A - 1$

$$MSe = SS_e / V_e \dots\dots\dots(2.27)$$

SS_e = *Sum of Square error*

V_e = Derajat bebas kesalahan (error) = $V_T - V_A - V_B - V_{\text{interaksi}}$

D. Menghitung F ratio suatu faktor dengan rumus :

$$F_{\text{ratio}} = MS_A / Mse \dots \dots \dots (2.27)$$

E. Menghitung pure of square (SS') suatu faktor dengan rumus :

$$SS' = SS - (df_A \times Mse) \dots \dots \dots (2.28)$$

F. Menghitung persen kontribusi (P) faktor A dengan rumus :

$$P = SS_A' / SS_M \times 100\% \dots \dots \dots (2.29)$$

G. Menghitung nilai Signal to Noise Ratio (SNR)

Dalam penelitian ini karakteristik kualitasnya adalah *Larger-the-Better* (LTB).

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{\text{LTB}} = -10 \text{ Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \dots \dots \dots (2.30)$$

H. Menghitung Efek dari tiap faktor

Perhitungan efek tiap faktor, dalam hal ini faktor kendali dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Efek faktor} = 1/a(\quad) \dots \dots \dots (2.31)$$

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

= nilai SNR yang digunakan

o = nomor eksperimens yang mempunyai level sama

2.10 Penentuan Level Faktor Kondisi Optimal Menggunakan MRSN

Karena kondisi optimal kalori dan kadar air diperoleh dari kombinasi level faktor yang berbeda, maka diperlukan analisis untuk mengoptimalkan kondisi yang berbeda tersebut menggunakan Taguchi multi respon. Taguchi multi respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah prosedur MRSN. Langkah-langkah yang sistematis dalam melakukan eksperimen

multi respon dengan menggunakan *Multi Respon Signal to Noise Ratio* (MRSN) terdiri dari beberapa tahapan, yaitu (Lestari, 2009) :

A. Menghitung *quality loss* (L_{ij}) untuk setiap trial.

Karakteristik kualitas kalor dan kadar air adalah *Larger-the-better* (LTB),

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2} \dots\dots\dots(2.32)$$

dengan :

y_{ijk} = data untuk respon ke-i, trial ke-j, replikasi ke-k ;

n_i = replikasi untuk respon ke-i ;

k = koefisien dari *quality loss*

B. Menentukan *Multi Respon Signal to Noise Ratio* (MRSN).

a. Menentukan *quality loss* maksimum untuk tiap respon.

b. Normalisasi *quality loss* (C_{ij}) tiap eksperimen.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*} \dots\dots\dots(2.33)$$

dengan $L_i^* = \max \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\}$

c. Menghitung *total normalized quality loss* (TNQL) setiap eksperimen :

$$TNQL_i = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij} \dots\dots\dots(2.34)$$

dengan : w_i = bobot dari normalisasi respon ke-i

Nilai kalor relatif lebih penting dibanding kadar air dan dipilih istilah linguistiknya "High" dan "Medium". Tingkat kepentingan relatif ditunjukkan oleh tabel *linguistic term*. Istilah tersebut dikonversikan kedalam bilangan *fuzzy*.

d. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen.

$$MRSN_j = -10 \log(TNQL_j) \dots\dots\dots(2.35)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang dibuat adalah merupakan suatu bentuk langkah-langkah pekerjaan penelitian yang akan dilakukan berupa tahapan-tahapan dan dari masing-masing tahap akan memberikan hubungan dengan tahap berikutnya seperti pada kerangka pemecahan masalah yang digambarkan dalam bentuk tahapan dibawah ini.

A. Studi Pendahuluan

Studi Pendahuluan dilakukan dengan cara observasi dimana obyek yang akan diteliti berada, untuk mengetahui situasi lingkungan tempat obyek, demografi penduduk, profil kegiatan, jenis tungku pembuat arang, permasalahan lingkungan dan pekerja akibat kegiatan proses pembuatan arang, kesehatan veteran pembuata arang melalui informasi Puskesmas, Kabag.sosial Kelurahan dan Kecamatan serta wawancara langsung stakeholder.

B. Perumusan Masalah

Tahapan ini merupakan suatu tahapan identifikasi terhadap masalah-masalah yang timbul dari akibat kegiatan pembuatan arang tradisional

C. Penetapan Tujuan Penelitian

Penetapan tujuan penelitian dimaksudkan untuk memudahkan peneliti didalam melaksanakan penelitian dimaksud sesuai dengan yang diharapkan, terarah dan sesuai dengan target yang telah ditetapkan

D. Penentuan Manfaat Penelitian

Pada tahapan ini akan diketahui manfaat dari penelitian ini, baik untuk masyarakat, Universitas maupun peneliti sendiri.

E. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari buku-buku referensi, jurnal penelitian terdahulu, hasil seminar yang berkaitan dengan pokok masalah yang akan dibahas, dengan harapan untuk mendapatkan landasan teori yang kuat yang akan digunakan dalam melakukan analisis kasus yang terjadi, sehingga penelitian yang dilakukan tidak keluar dari kaidah-kaidah yang telah ditetapkan dan dalam proses pelaksanaan penelitian dapat terarah sesuai dengan yang diharapkan.

F. Pengumpulan Data

Dalam proses pengumpulan data, diambil dari data hasil penelitian yang dilakukan selama penelitian dan secara komprehensif dibandingkan dengan jurnal-jurnal penelitian terdahulu dan persyaratan standart.

G. Pengolahan Data

Proses analisa data akan dilakukan berdasarkan metode yang digunakan dalam acuan penelitian

H. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

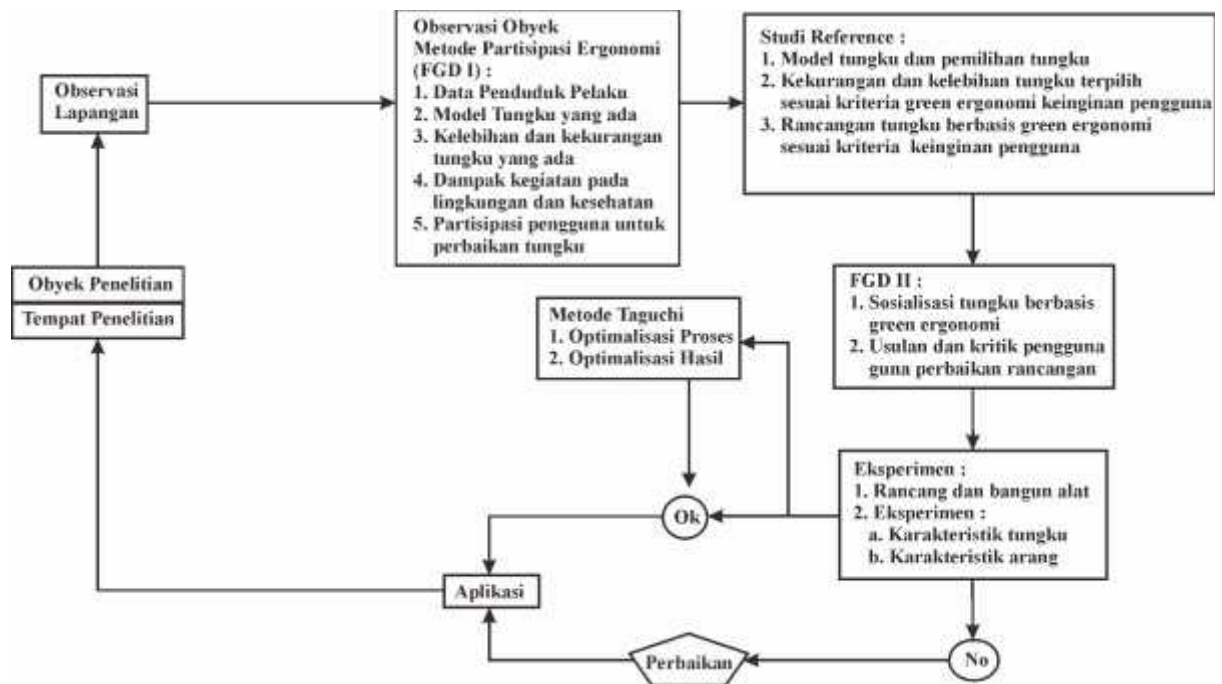
Pengambilan kesimpulan dan saran berdasarkan pada hasil analisis yang telah dilakukan

3.2 Objek penelitian

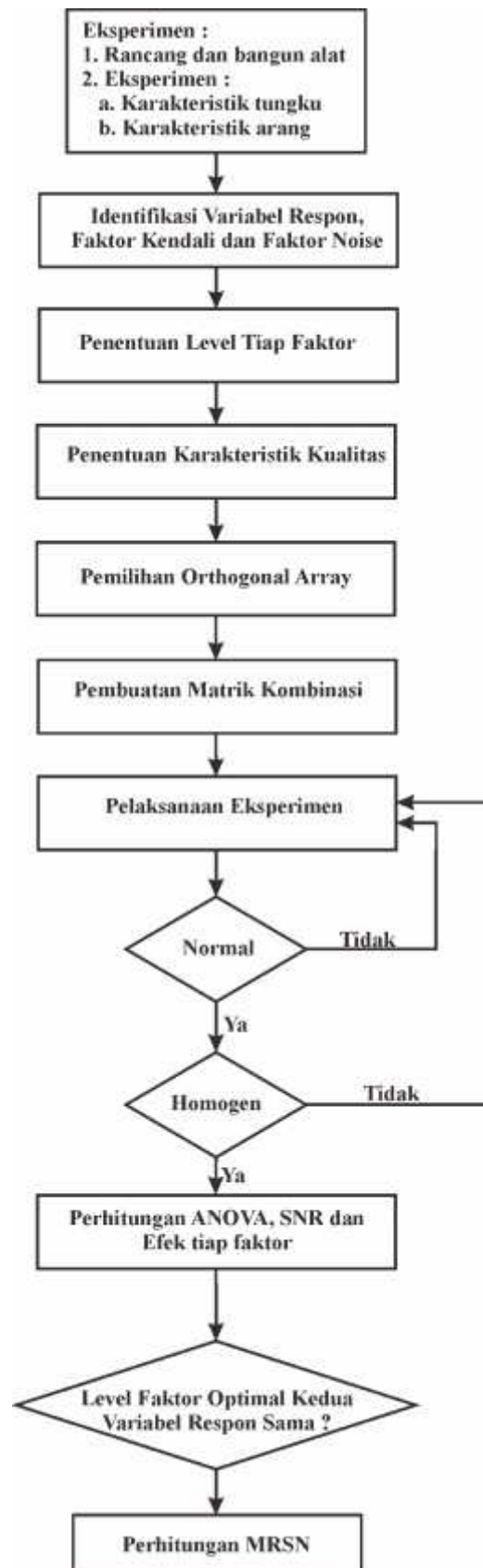
Sebagai tempat obyek penelitian di Dusun Dawung, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul. Dusun Dawung dengan kepala dusun bapak Sukardiyo, masuk daerah kelurahan Girikarto dan kecamatan Panggang Gunungkidul, hampir 50% jumlah penduduk melakukan pekerjaan membuat arang secara tradisional, sehingga penelitian ini sesuai dengan keadaan tersebut.

3.3 Prosedur Penelitian

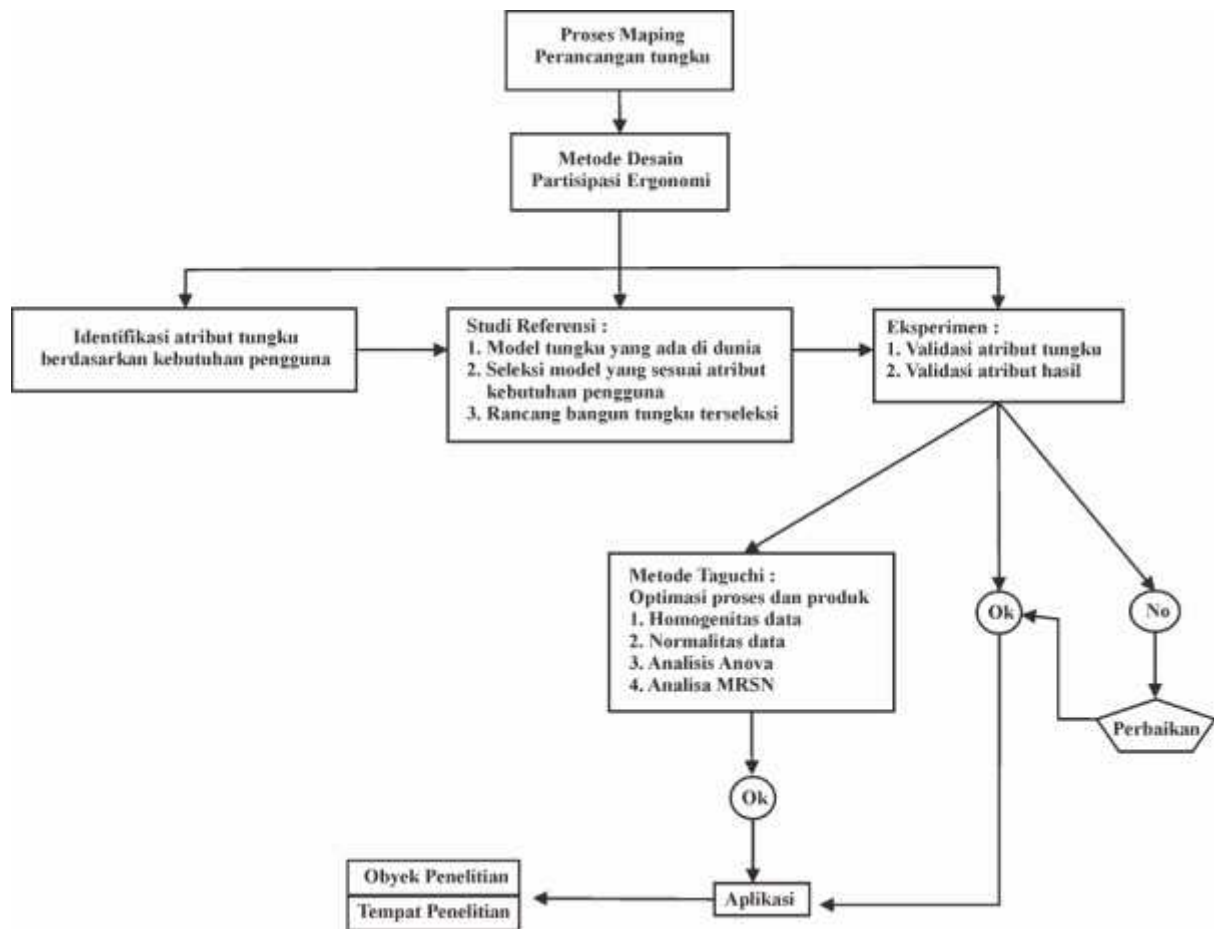
Penelitian ini dasarnya merupakan penelitian yang melibatkan secara aktif semua pihak-pihak yang relevan (stakeholders) dalam mengkaji tindakan yang sedang berlangsung (dimana pengalaman mereka sendiri sebagai persoalan) dalam rangka melakukan perubahan dan perbaikan ke arah yang lebih baik. Lebih jelasnya proses alur penelitian digambarkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alir Metode Taguchi



Gambar 3.3 Diagram Alir Metode Partisipasi Ergonomi

3.3.1 Penelitian pendahuluan

Dalam penelitian pendahuluan dilakukan aktivitas sbb :

A. Penentuan tempat dan obyek penelitian

Sebagai tempat obyek penelitian di Dusun Dawung, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunung Kidul. Dusun Dawung dengan kepala dusun bapak Sukardiyo, masuk daerah kelurahan Girikarto dan kecamatan Panggang Gunungkidul, hampir 50% jumlah penduduk melakukan pekerjaan membuat arang secara tradisional, sehingga penelitian ini sesuai dengan keadaan tersebut.

B. Observasi lapangan

Dusun Dawung, Kecamatan Panggang, Kabupaten Gunungkidul dengan wilayah perbukitan kapur sangat tidak mungkin menjadi pertanian subur, karena sumber air amat sangat terbatas hanya menggantungkan dari tadah hujan. Kegiatan selain tanam singkong adalah produksi arang, proses pembuatan arang secara tradisional dengan sistem timbun tanah cara *Eartmound Kiln*. Cara ini tidak memikirkan aspek kesehatan pekerja dan lingkungan, polutan asap dan debu cukup tinggi.

C. Mapping Perancangan Tungku Pembuat Arang dengan menggunakan metode Partisipasi Ergonomi

Melakukan *focus group discussion* 1 dan wawancara untuk mendapatkan data :

a. Profil dan jumlah pelaku produksi arang

Penduduk Dawung sebagian besar lulusan SD dan SMP dengan demikian pengetahuan atas proses produksi arang didapat dari turun temurun, pengetahuan atas proses yang sehat baik bagi dirinya maupun lingkungan terabaikan. Penduduk Dawung 50 % melakukan produksi arang, karena karakteristik alam yang tidak memungkinkan bercocok tanam seperti petani lain karena susahnya air. (*Sumber :Lurah Girikerto,Tuyadi dan Kepala Dusun Dawung ,Sukardiyo*)

b. Model tungku yang ada

Pengetahuan proses produksi arang didapat dari turun temurun sehingga model tungku yang digunakan semua sama , *Eartmound Kiln* dengan cara ditimbun dengan tanah, tungku ini kekurangannya pembakaran tidak bisa dikontrol serta proses cukup lama sekitar 5 hari (dari membangun tungku proses sampai pembakaran sampai selesai) dan polutan cukup mengganggu kesehatan pekerja dan lingkungan, proses dialam terbuka sehingga tergantung cuaca. Tetapi

tungku ini disukai karena cukup murah. (*Sumber stakeholder: Lurah Girikerto, Tuyadi dan Kepala Dusun Dawung, Sukardiyo serta pelaku pembuat arang, Fitri, Karno, Baroni*)

c. Identifikasi atribut tungku yang ada:

Kelebihan (1)mudah dan murah, sedang kekurangannya (1)membangun tungku cukup perlu waktu, (2)proses cukup lama sekitar 5 hari, (3)pembakaran tidak terkontrol, (4)Polutan asap dan debu mengganggu kesehatan pekerja dan lingkungan, (5)proses terganggu oleh cuaca hujan.

d. Identifikasi atribut tungku sesuai yang dibutuhkan pengguna :

Dari kekurangan dan kelebihan tungku yang ada para pengguna menginginkan tungku dengan atribut / karakteristik (1)mudah dan murah, (2)pembakaran mudah dikontrol sehingga bisa ditinggal tanpa khawatir proses pembakaran berlanjut sehingga material jadi terbakar dan habis, (3)proses pembakaran relatif cepat, (4)proses tidak terganggu cuaca hujan, (5)polutan kecil sehingga lebih ramah lingkungan dan kesehatan, (6) hasil dengan kualitas diterima oleh pasar.

(*Sumber Stakeholder: Dinas Pertanian Bag. Pangan dan Budi Daya Kab. Gunung Kidul ,Ir Raharjo Yuwono MM, Kec. Panggang Kab. Gunung Kidul, Kasi Tata Pemerintahan ,Bpk Surantoko, S.Sos., M.M, Kepala Desa Girikarto Kec. Panggang Kab. Gunung Kidul ,Bpk Tuyadi, Kepala Padukuhan Dawung Kel. Girikarto Kec. Panggang Kab. Gunung Kidul,Sukardio, pelaku produksi, Fitri, Karno, Baroni*)

D. Studi Reference untuk mendapatkan data dan informasi :

- a. Berbagai macam dan jenis model tungku yang ada didunia
- b. Kelebihan dan kekurangan tungku yang terpilih

- c. Rancangan tungku berbasis partisipasi ramah lingkungan sesuai kebutuhan pengguna
- d. Kelebihan dan kekurangan tungku berbasis partisipasi ramah lingkungan sesuai kebutuhan pengguna

3.3.2 Rancangan alat

Rancangan tungku berbasis ramah lingkungan berdasar permasalahan yang ditemukan :

A. Model Cerobong

- a. cerobong dengan panjang 1 m
- b. cerobong dengan panjang 4-5 m

B. Konstruksi tempat pembakaran

- a. vertikal
- b. horisontal
- c. penambahan tempat material/keranjang

C. Tempat inisiasi pembakaran

- a. didasar
- b. disesuaikan tinggi kursi kecil

D. Jumlah lubang pengatur udara

- a. satu dan sentral
- b. lebih dari satu

Rancangan alat ditawarkan melalui FGD (2) dengan *stakeholder* untuk mensosialisasikan gambar tungku berbasis partisipasi ramah lingkungan sesuai kebutuhan pengguna. Hasil sosialisasi berupa umpan balik dari pengguna untuk mendapatkan kritik serta usulan perbaikan rancangan tungku.

3.3.3 Pembuatan prototipe

Dari data perbaikan rancangan yang telah disepakati dalam FGD2 dilakukan :

- A. Rancang bangun tungku berbasis partisipasi ramah lingkungan sesuai keinginan pengguna
- B. Uji coba

3.3.4 Pengukuran efisiensi alat

Untuk mendapatkan nilai efisiensi dari tungku yang dirancang berbasis partisipasi green ergonomi sesuai keinginan pengguna, secara sederhana pengukuran efisiensi dinyatakan dengan $\text{output} / \text{input}$. Adapun *variabel output (variabel respon)* adalah variabel yang menjadi pusat perhatian, variabel yang diinginkan oleh pengguna alat hasil dari FGD :

- A. Lama pembakaran (waktu optimal)
- B. Jumlah material untuk pembakar
- C. Jumlah hasil (rendemen)
- D. Jumlah kalor hasil
- E. Kadar air hasil
- F. Tingkat kerapuhan
- G. Polutan asap dan debu

Nilai efisiensi alat terukur sebagai berikut :

- a). Analisa sebaran debu dan asap tungku berbasis ramah lingkungan
- b). Identifikasi dan pemilihan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan.

Level faktor yang digunakan berikut alasan pemilihan level adalah sebagai berikut :

(Rahmatullah, 2014)

- a. Berat Jenis , dipilihnya level ini karena jika < 0.6 menunjukkan anatomi dari kayu yang kurang rapat sehingga banyak pori jika dibakar mengandung banyak kadar abu sehingga kualitas arang rendah dan jika > 0.7 komponen Holoselulosa tinggi, zat ini mudah terdegradasi dalam pembakaran dibanding lignin sehingga kualitas arang tidak bagus
- b. Kadar karbon terikat, kadar karbon memberikan reaksi oksidasi meningkat dan menghasilkan kalori (eksoterm). Dibawah 15% reaksi oksidasi rendah sehingga eksoterm rendah, arang rapuh tetapi jika $>20\%$ kadar selulosa dan holoselulosa meningkat yang akan memberikan reaksi degradasi dengan hasil arang rendah kalori dan rapuh
- c. Kadar air material, $>12\%$ dalam proses karbonasi makin tinggi kadar air kayu makin banyak pula kalor yang dibutuhkan dibutuhkan untuk mengeluarkan air dalam kayu menjadi uap sehingga energi dalam arang menjadi lebih kecil. Jika level $< 6\%$ peruraian H_2O menjadi H_2 dan O_2 sedikit, reaksi oksidasi lebih lambat karena kadar oksigen dalam reaksi relatif sedikit sehingga susah terbakar/terkarbonisasi
- d. Lama proses karbonisasi, level < 8 jam proses karbonisasi tidak sempurna sehingga arang belum terbentuk, untuk level > 9 jam proses karbonisasi berlanjut dan terjadi pembakaran sehingga material jadi abu.

- e. Volume material, disesuaikan volume/kapasitas tungku, level < 25 kg ruang tersisa cukup luas sehingga reaksi oksidasi mudah terjadi dan mudah terbakar sehingga material jadi abu, jika > 30 kg ruang reaksi oksidasi sangat terbatas sehingga sulit proses karbonisasi terjadi
- f. Jenis kayu, kita pilih dua jenis kayu dengan berat jenis dan kandungan lignin tinggi untuk memberikan hasil yang baik

Tabel 3.1 Matriks dari variabel respon :

No	Variabel Respon	Faktor yang mempengaruhi	Terkontrol/ Tidak terkontrol	Level	Satuan pengukuran
1	Lama pembakaran	a. Volume material b. Kadar air material c. Asupan oksigen/udara d. Berat jenis e. Kadar karbon terikat f. Suhu pembakaran	a. Terkontrol b. Terkontrol c. Terkontrol d. Non kontrol e. Non kontrol f. Terkontrol	a. 25-30 kg b. 6-12% - d. 0,6-0,7 gr/cm ² e. 15-20% f. 300-500°C	jam
2	Jumlah material untuk pembakaran	a. Volume material b. Kadar air material c. Asupan oksigen/udara d. Berat jenis e. Kadar karbon terikat f. Lama pembakaran	a. Terkontrol b. Terkontrol c. Terkontrol d. Non kontrol e. Non kontrol f. Terkontrol	a. 25-30 kg b. 6-12% - d. 0,6-0,7 gr/cm ² e. 15-20% f. 300-500°C	m ³

Lanjutan

No	Variabel Respon	Faktor yang mempengaruhi	Terkontrol/ Tidak terkontrol	Level	Satuan pengukuran
3	Jumlah hasil (rendemen)	a. Volume material b. Kadar air material c. Jenis kayu material d. Berat jenis e. Kadar karbon terikat	a. Terkontrol b. Terkontrol c. Terkontrol d. Non kontrol e. Non kontrol	a. 25-30kg b. 6-12% c. Jati-tempurung kelapa d. 0,6-0,7 gr/cm ² e. 15-20%	% dari material mula
4	Jumlah kalor bakar hasil	a. Jenis kayu material b. Lama proses c. Berat jenis dan kerapatan d. Kandungan lignin e. Kadar karbon terikat	a. Terkontrol b. Terkontrol c. Non kontrol d. Non kontrol e. Non kontrol	a. Jati-tempurung kelapa b. 8-9jam c. 0,6-0,7 gr/cm ² d. 7-12 BTU/lb e. 15-20%	kalori/gr
5	Tingkat kerapuhan	a. Jenis kayu material b. Lama proses c. Berat jenis d. Kadar karbon terikat	a. Terkontrol b. Terkontrol c. Non kontrol d. Non kontrol	a. Jati-tempurung kelapa b. 8-9jam c. 0,6-0,7 gr/cm ² d. 15-20%	kg/cm ²
6	Polutan asap	a. Volume material b. Kadar air material c. Jenis kayu material d. Berat jenis e. Lama proses	a. Terkontrol b. Terkontrol c. Terkontrol d. Non kontrol e. Terkontrol	a. 25-30 kg b. 6-12% c. Jati-tempurung kelapa d. 0,6-0,7 gr/cm ² e. 8-9 jam	ppm

Lanjutan

No	Variabel Respon	Faktor yang mempengaruhi	Terkontrol/ Tidak terkontrol	Level	Satuan pengukuran
7	Kadar Air hasil	a. Volume material b. Kadar air material c. Jenis kayu material d. Berat jenis e. Lama proses	a. Terkontrol b. Terkontrol c. Terkontrol d. Non kontrol e. Terkontrol	a. 25-30 kg b. 6-12% c. Jati-tempurung kelapa d. 0,6-0,7 gr/cm ² e. 8-9 jam	ppm

Penentuan faktor kendali.

Faktor-faktor yang diduga mempengaruhi karakteristik kualitas produk yang dihasilkan

Tabel 3.2 Faktor Kendali

No	Faktor Kendali	Kode	Level 1	Level 2
1	Kadar air material	A	6%	12 %
2	Lama proses	B	8 jam	9 jam
3	Volume material	C	25 kg	30 kg
4	Jenis kayu	D	Jati	Tempurung kelapa

Berdasarkan level yang digunakan pada masing-masing faktor kendali maka orthogonal array yang digunakan pada faktor kendali adalah $L_8 2^7$, sebagaimana tabel berikut:

Tabel 3.3 Matrik Orthogonal Array $L_8 2^7$ Standar

Trial	Column Number						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

Tabel 3.4 Kombinasi Faktor Kendali dan Level

		Faktor Kendali						Data hasil Percobaan				
		A	B	C	D	E	F	Error				
Trial	Column Number							Replikasi ke				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1					
2	1	1	1	2	2	2	2					
3	1	2	2	1	1	2	2					
4	1	2	2	2	2	1	1					
5	2	1	2	1	2	1	2					
6	2	1	2	2	1	2	1					
7	2	2	1	1	2	2	1					
8	2	2	1	2	1	1	2					

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Persiapan Eksperimen

A. Mempersiapkan material kayu jati dan tempurung kelapa dengan kadar air 6% dan 12%

Untuk mendapatkan material dengan fisik sesuai dengan level yang diperlukan untuk eksperimen, dilakukan pengeringan secara manual dengan sinar matahari dimana untuk mendapatkan kayu jati dengan kadar air 12% diperlukan pengeringan sinar matahari 3-4 hari dan kadar air 6% diperlukan pengeringan 5-6 hari. Sedangkan untuk material tempurung kelapa lebih cepat karena fisik lebih tipis dan lebar sehingga memudahkan proses penguapan, untuk kadar 12% dengan pemanasan 2 hari dan kadar 6% cukup dengan pemanasan 3-4 hari.

B. Proses pembakaran material

Proses pembakaran dilakukan setelah material ditimbang sesuai dengan ukuran level, pembakaran api langsung cukup sekitar 1-3 jam setelah itu terbakar sendiri didalam tungku pembakaran, ditunggu setelah asap yang keluar dari cerobong kebiruan jernih (\pm 8-9 jam) semua aliran udara ditutup rapat untuk menghentikan proses pembakaran berlanjut. Hasil dipanen setelah drum tungku pembakaran dingin, memerlukan sekitar 4 jam pendinginan.

C. Pengukuran Hasil

Pengukuran hasil pembakaran berupa arang, pengukuran dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar air dan besar nilai kalor dari arang hasil. Pengukuran dilakukan di laboratorium PAU Universitas Gadjah Mada.

4.2 Pengumpulan Data

4.2.1 Karakteristik tungku pembuat arang tradisional

Tabel 4.1 Karakteristik Tungku pembuat arang Tradisional

No	Karakteristik ramah lingkungan	Tungku Tradisional Sifat Kualitatif	Tungku Tradisional Sifat Kuantitatif
1	Lingkungan	Limbah debu, abu, asap	15% limbah debu hasil pembakaran tersebar radius 20 m sekitar produksi
2	Ruang kerja	Terbuka, disekitar rumah, asap dan debu terkonsentrasi di tempat lingkungan kerja dan sekitar, dipengaruhi kondisi cuaca,	3x3 m (1,5x1,5 m ukuran tungku), asap menyebar sampai radius 50 m
3	Mesin produksi	Sekali pakai, bongkar bangun, penyalaan pembakaran jongkok	2 hari tiap membangun
4	Proses	Memakan waktu, dimulai dari membangun sampai pembakaran dipengaruhi kondisi cuaca,	5 hari tiap proses
5	Hasil	Kurang optimal, relatif masih mengeluarkan asap banyak.	19-23% rendemen, nilai kalori 5786 kal/gr, kadar air 6,27%
6	Beban kerja	Lebih dari 2 orang sehingga pembiayaan relatif besar	2-3 pekerja

Lanjutan

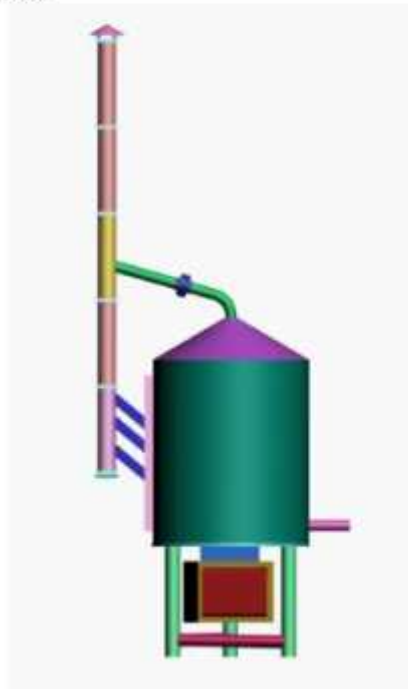
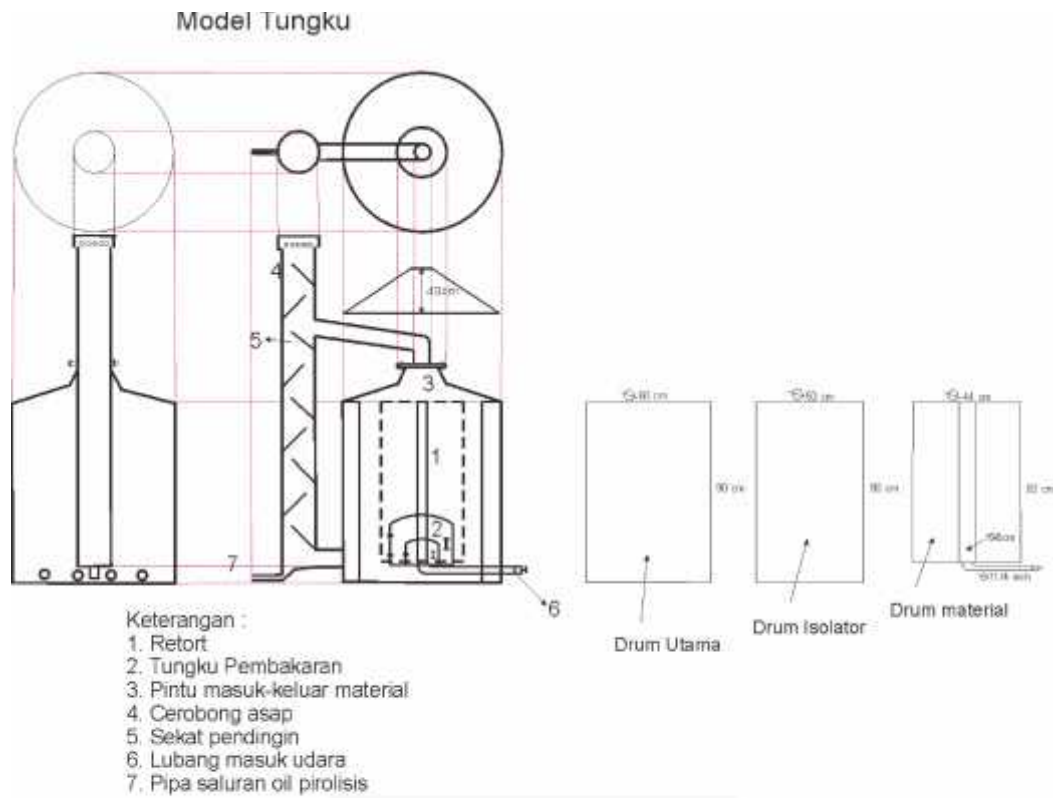
No	Karakteristik ramah lingkungan	Tungku Tradisional Sifat Kualitatif	Tungku Tradisional Sifat Kuantitatif
7	Aman	Saat panen berhubungan langsung dengan bara, asap dan debu	400-500°C, partikel asap dan debu pada pembakaran kayu berukuran antara 0,4-0,7 µm ukuran sama dengan PM 2,5 akibatkan gangguan pernafasan
8	Nyaman	Penyalan pembakaran jongkok, harus ditunggu saat pembakaran	6-8 jam bergantian untuk menjaga api tetap menyala
9	Efisien	Kontrol sulit, Lebih dari 2 orang sehingga pembiayaan relatif besar	6-8 lubang pembakaran, penutupan dengan tanah memberikan pori seluruh permukaan tungku sehingga proses pembakaran berlanjut karena pasokan udara terlalu banyak
10	Kesehatan pekerja	6-8 terpapar polutan asap dan saat panen terpapar debu dan panas	asap menyebar sampai radius 50 m, 30% limbah debu radius 20 m sekitar produksi, partikel asap ukuran sama dengan PM 2,5 akibatkan gangguan pernafasan

Lanjutan

No	Karateristik ramah lingkungan	Tungku Tradisional Sifat Kualitatif	Tungku Tradisional Sifat Kuantitatif
11	Kesehatan lingkungan	Selama 3 hari terpapar polutan asap dan debu	asap menyebar sampai radius 50 m, 30% limbah debu radius 20 m sekitar produksi, partikel asap dan debu pada pembakaran kayu berukuran antara 0,4-0,7 μm ukuran sama dengan PM 2,5 akibatkan gangguan pernafasan

Sumber :Stakeholder; Fikri Faisal, et al (2021); Permenkes (2012), Ganesan., Nema (2006); Thatcher, et al (2013); Annis & McConville (1996) ; Manuaba (2000) ; Pheasant., Haselgrave (2006) ; Faizal, M, et al (2014); Siahaan, et al (2013); Rais Salim (2016)

4.2.2 Bangun Tungku Pembuat Arang Berbasis Ramah Lingkungan



Gambar 4.1 Bangun Tungku Pembuat Arang Berbasis Ramah Lingkungan (2 dan 3 dimensi)

Karakteristik tungku ramah lingkungan terpilih hasil FGD II :

- A. Model Cerobong dengan panjang 4-5 m dengan asap diatas genteng, aman untuk pekerja dan lingkungan
- B. Konstruksi tempat pembakaran vertikal dengan penambahan tempat material/keranjang untuk kemudahan pengambilan hasil
- C. Tempat inisiasi pembakaran dengan tinggi disesuaikan dengan kursi kecil yang nyaman
- D. Jumlah lubang pengatur udara satu sentral untuk kemudahan kontrol asupan udara

4.2.3. Hasil eksperimen tungku pembuat arang berbasis ramah lingkungan

Tabel 4.2 Hasil eksperimen tungku pembuat arang berbasis ramah lingkungan

No	Karateristik ramah Lingkungan	Tungku berbasis Ramah Lingkungan- sifat Kualitatif	Tungku berbasis Ramah Lingkungan- sifat Kuantitatif
1	Lingkungan	Limbah debu dan abu terkonsentrasi dalam drum tungku , cerobong keatas sehingga asap tersebar diatas atap rumah.	2% limbah debu hasil pembakaran/panen tersebar radius 3 m sekitar produksi, cerobong panjang 4-5 m
2	Ruang kerja	Terbuka, disekitar rumah, asap dan debu terkonsentrasi di tempat lingkungan kerja dan sekitar, dipengaruhi kondisi cuaca,	3x3 m (1,5x1,5 m ukuran tungku), 2% limbah debu hasil pembakaran/panen tersebar radius 3 m sekitar produksi, cerobong panjang 4-5 m

Lanjutan

No	Karakteristik ramah Lingkungan	Tungku berbasis Ramah Lingkungan- sifat Kualitatif	Tungku berbasis Ramah Lingkungan- sifat Kuantitatif
3	Mesin produksi	Penyalan pembakaran dengan posisi duduk di kursi kecil , kontrol nyala api 2-3 jam saat pembakaran	Sekali saja membangun
4	Proses	Realtif lebih cepat	2 hari tiap proses, paparan debu dan asap lebih sedikit
5	Hasil	optimal,	25-30% rendemen, nilai kalori 6489 kal/gr, kadar air 5,704%
6	Beban kerja	1-2 orang sehingga pembiayaan relatif murah	1-2 pekerja
7	Aman	Saat panen tidak berhubungan langsung dengan bara, asap dan debu	Panen setelah drum dingin suhu ruangan 27°C, partikel asap dan debu terkonsentrasi dalam drum
8	Nyaman	Penyalan pembakaran dengan posisi duduk di kursi kecil , kontrol nyala api 2-3 jam saat pembakaran	2-3 jam menyala stabil, bisa ditinggal mengerjakan yang lain
9	Efisien	Kontrol mudah, 1-2 orang sehingga pembiayaan relatif kecil	1 lubang pembakaran, 1 lubang kontrol udara, 1

Lanjutan

No	Karakteristik ramah Lingkungan	Tungku berbasis Ramah Lingkungan- sifat Kualitatif	Tungku berbasis Ramah Lingkungan- sifat Kuantitatif
10	Kesehatan pekerja	Terjamin, debu terkonsentrasi di dalam drum dan asap arah keatas	Cerobong 4-5 m
11	Kesehatan lingkungan	Terjamin, debu terkonsentrasi di dalam drum dan asap arah keatas	Cerobong 4-5 m , saat panen debu radius 2-3m

4.2.4 Data Hasil Pengukuran Kalor dan Kadar Air

Tabel 4.3 Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr)

Tri al	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan			
	A	B	C	D	E	F	Error	Replikasi ke			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	6.151,257	6.152,737	6.152,950	6.300,242
2	1	1	1	2	2	2	2	6.320,421	6.345,867	6.358,745	6.417,415
3	1	2	2	1	1	2	2	6.320,583	6.295,704	6.152,611	6.280,284
4	1	2	2	2	2	1	1	5.817,246	5.665,228	5.574,694	5.715,861
5	2	1	2	1	2	1	2	5.569,300	5.670,810	5.958,787	5.958,787
6	2	1	2	2	1	2	1	6.044,882	6.734,564	6.583,416	6.453,801
7	2	2	1	1	2	2	1	6.307,700	6.532,984	6.732,219	6.381,559
8	2	2	1	2	1	1	2	5.976,131	6.014,387	6.741,601	6.612,749

Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%)

		Faktor Kendali										
		A	B	C	D	E	F	Error	Data hasil Percobaan			
Tri al	Column Number							Replikasi ke				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329
2	1	1	1	2	2	2	2	2	5,374	5,466	5,477	5,477
3	1	2	2	1	1	2	2	2	6,239	6,263	6,385	6,186
4	1	2	2	2	2	1	1	1	6,519	6,457	6,432	6,696
5	2	1	2	1	2	1	2	2	6,918	7,041	6,095	6,884
6	2	1	2	2	1	2	1	1	6,335	6,159	6,249	6,19
7	2	2	1	1	2	2	1	1	5,799	6,085	5,465	5,467
8	2	2	1	2	1	1	2	2	6,088	6,093	6,42	6,094

4.3 Analisis Data

4.3.1 Uji Normalitas Data

Pengujian ini untuk mengetahui apakah distribusi frekuensi hasil pengamatan sesuai dengan *expected normal curve frequencies* dengan menggunakan *chi-square distribution*.

Uji kebaikan sesuai antara frekuensi yang teramati dengan frekuensi harapan :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(oi - ei)^2}{ei}$$

Dengan : oi = frekuensi teramati

ei = frekuensi harapan bagi sel ke-i

4.3.1.1 Uji Normalitas Kalori

Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr)

Trial	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan			
	A	B	C	D	E	F	Error				
	Column Number							Replikasi ke			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	6.151,257	6.152,737	6.152,950	6.300,242
2	1	1	1	2	2	2	2	6.320,421	6.345,867	6.358,745	6.417,415
3	1	2	2	1	1	2	2	6.320,583	6.295,704	6.152,611	6.280,284
4	1	2	2	2	2	1	1	5.817,246	5.665,228	5.574,694	5.715,861
5	2	1	2	1	2	1	2	5.569,300	5.670,810	5.958,787	5.958,787
6	2	1	2	2	1	2	1	6.044,882	6.734,564	6.583,416	6.453,801
7	2	2	1	1	2	2	1	6.307,700	6.532,984	6.732,219	6.381,559
8	2	2	1	2	1	1	2	5.976,131	6.014,387	6.741,601	6.612,749

$$k = 1 + 3,32 \log 32 = 6 \quad \mu = 6216,510469$$

$$R = 1.172,301 \quad (\sigma^2) = 107783,503$$

$$P = R/k = 195,3835 \quad = 328,303979$$

Tabel 4.6 Nilai Daftar Distribusi Normal Kalor

No	Batas Kelas	Frekuensi Observasi (O _i)	Frekuensi Harapan (E _i)	Penggabungan		O _i -E _i	(O _i -E _i) ²	(O _i -E _i) ² /E _i
				Frekuensi Observasi (O _i)	Frekuensi Harapan (E _i)			
1	5567-5762	5	1,64192	8	6,06848	1,93152	3,73076951	0,61477825
2	5762-5957	3	4,42656					
3	5957-6152	7	7,43904	7	7,43904	-0,43904	0,19275612	0,02591142
4	6152-6347	7	7,90816	7	7,90816	-0,90816	0,82475459	0,10429159
5	6347-6542	5	5,87104					
6	6542-6742	5	2,90208	10	8,77312	1,22688	1,50523453	0,17157346
								0,91655472

Nilai Distribusi Normal dari pengukuran kalor dibanding nilai tabel adalah sebagai berikut :

X^2 hitung = 0,9166 sedangkan nilai X^2 tabel (0,95 : 1) = 3,84, karena X^2 hitung < X^2 tabel yaitu 0,9166 < 3,84 maka H_0 diterima artinya data hasil uji kalori berdistribusi normal.

4.3.1.2 Uji Normalitas Kadar Air

Tabel 4.7 Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%)

Trial	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan			
	A	B	C	D	E	F	Error	Replikasi ke			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329
2	1	1	1	2	2	2	2	5,374	5,466	5,477	5,477
3	1	2	2	1	1	2	2	6,239	6,263	6,385	6,186
4	1	2	2	2	2	1	1	6,519	6,457	6,432	6,696
5	2	1	2	1	2	1	2	6,918	7,041	6,095	6,884
6	2	1	2	2	1	2	1	6,335	6,159	6,249	6,19
7	2	2	1	1	2	2	1	5,799	6,085	5,465	5,467
8	2	2	1	2	1	1	2	6,088	6,093	6,42	6,094

$$k = 1 + 3,32 \log 32 = 6 \quad \mu = 6,0391875$$

$$R = 1,888 \quad (\sigma^2) = 0,2792231$$

$$P = R/k = 0,314666667 = 0,5284157$$

Tabel 4.8 Nilai Daftar Distribusi Normal Kadar Air

No	Batas Kelas	Frekuensi Harapan (Ei)	Frekuensi Observasi (Oi)	Penggabungan		Oi-Ei	(Oi-Ei) ²	(Oi-Ei) ² /Ei
				Frekuensi Observasi (Oi)	Frekuensi Harapan (Ei)			
1	5,150-5,465	3,43872	5	10	8,84544	1,15456	1,333009	0,1507
2	5,465-5,780	5,40672	5					
3	5,780-6,095	6,65184	6	6	6,65184	-0,65184	0,424895	0,063876
4	6,095-6,410	6,02208	8	8	6,02208	1,97792	3,912168	0,649637
5	6,410-6,725	4,26176	5	8	6,60576	1,39424	1,943905	0,294274
6	6,725-7,045	2,344	3					
							Σ	1,158488

Nilai Distribusi Normal dari pengukuran kadar air dibanding nilai tabel adalah sebagai berikut :

X^2 hitung = 1,1585 sedangkan nilai X^2 tabel (0,95 : 1) = 3,84, karena X^2 hitung < X^2 tabel yaitu 1,1585 < 3,84 maka H_0 diterima artinya data hasil uji kalori berdistribusi normal.

4.3.2 Uji Homogenitas Variansi

Salah satu cara untuk menguji homogenitas k buah ($k \geq 2$) variansi populasi yang berdistribusi normal adalah dengan menggunakan *uji Barlett*. *Uji Bartlett* digunakan untuk menguji apakah k sampel berasal dari populasi dengan varians yang sama. k sampel bisa berapa saja. karena biasanya *uji bartlett* digunakan untuk menguji sampel/kelompok yang

lebih dari 2. Varians yang sama di seluruh sampel disebut homoscedasticity atau homogenitas varians.

$$s^2 = \{ \sum (n_i - 1) s_i^2 \} / \sum (n_i - 1)$$

$$B = (\log s^2) \sum (n_i - 1)$$

$$\chi^2 = (\ln 10) \{ B - \sum (n_i - 1) \log s_i^2 \}$$

n_1, \dots, n_k = sampel dari populasi

Y_{ij} = data dimana $i = 1, 2, 3, \dots, n$ dan $j = 1, 2, 3, \dots, n_k$

$S_i^2 = S_1^2, S_2^2, \dots, S_k^2$

Jika $\chi^2 < \chi^2_{(1-\alpha)(k-1)}$ maka H_0 diterima. Catatan beberapa buku menuliskan $\chi^2_{(1-\alpha)(k-1)}$. Perbedaan terletak pada penggunaan tabel dengan daerah penerimaan yang berbeda, tetapi hasil sama

4.3.2.1 Uji Homogenitas Variansi Kalori

Tabel 4.9 Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr)

Trial	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan			
	A	B	C	D	E	F	Error	Replikasi ke			
	Column Number							1	2	3	4
	1	2	3	4	5	6	7				
1	1	1	1	1	1	1	1	6.151,257	6.152,737	6.152,950	6.300,242
2	1	1	1	2	2	2	2	6.320,421	6.345,867	6.358,745	6.417,415
3	1	2	2	1	1	2	2	6.320,583	6.295,704	6.152,611	6.280,284
4	1	2	2	2	2	1	1	5.817,246	5.665,228	5.574,694	5.715,861
5	2	1	2	1	2	1	2	5.569,300	5.670,810	5.958,787	5.958,787
6	2	1	2	2	1	2	1	6.044,882	6.734,564	6.583,416	6.453,801
7	2	2	1	1	2	2	1	6.307,700	6.532,984	6.732,219	6.381,559
8	2	2	1	2	1	1	2	5.976,131	6.014,387	6.741,601	6.612,749

Tabel 4.10 Uji Barlett Data Kalori

Replika	N-1	1/N-1	Si ²	(N-1)Si ²	log Si ²	(N-1)log Si ²
1	7	0,142857	73.184,231	512.289,616	4,864418	34,0509226
2	7	0,142857	146.482,539	1.025.377,774	5,165786	36,160501
3	7	0,142857	164.116,478	1.148.815,345	5,215152	36,5060653
4	7	0,142857	84.312,443	590.187,098	4,925892	34,4812417
	28		468.095,690	3.276.669,833	20,17125	141,198731

Menghitung variansi gabungan dari semua sampel (S²)

$$S^2 = 3.276.669,833 : 28 = 117023,9226$$

Menghitung harga satuan B

$$B = 5,068274651 \times 28 = 141,9116902$$

Menghitung X² hitung :

$$X^2 \text{ hitung} = 2,303 \times (141,9116902 - 141,198731) = 1,64$$

$$X^2 \text{ tabel}(0,95:3) = 7,810$$

Nilai hitung Uji Barlett dari pengukuran kalor dibanding nilai tabel adalah sebagai berikut :

X² hitung = 1,64 sedangkan nilai X² tabel (0,95 : 3) = 7,810, karena X² hitung < X² tabel yaitu 1,64 < 7,810 maka Ho diterima artinya data hasil uji Barlett kalori homogen.

4.3.2.2 Uji Homogenitas Variansi Kadar Air

Tabel 4.11 Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%)

Trial	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan			
	A	B	C	D	E	F	Error				
	Column Number							Replikasi ke			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329
2	1	1	1	2	2	2	2	5,374	5,466	5,477	5,477
3	1	2	2	1	1	2	2	6,239	6,263	6,385	6,186
4	1	2	2	2	2	1	1	6,519	6,457	6,432	6,696
5	2	1	2	1	2	1	2	6,918	7,041	6,095	6,884
6	2	1	2	2	1	2	1	6,335	6,159	6,249	6,19
7	2	2	1	1	2	2	1	5,799	6,085	5,465	5,467
8	2	2	1	2	1	1	2	6,088	6,093	6,42	6,094

Tabel 4.12 Uji Barlett Kadar Air

Replika	N-1	1/N-1	Si ²	(N-1)Si ²	log Si ²	(N-1)log Si ²
1	7	0,142857	0,345	2,416	-0,46195026	-3,23365185
2	7	0,142857	0,324	2,266	-0,48987158	-3,42910106
3	7	0,142857	0,248	1,735	-0,60586966	-4,24108759
4	7	0,142857	0,334	2,340	-0,47584101	-3,33088704
	28		1,251	8,757	-2,03353251	-14,2347275

Menghitung variansi gabungan dari semua sampel (S^2)

$$S^2 = 8,757 : 28 = 0,312752 \quad \log S^2 = -0,5048$$

Menghitung harga satuan B

$$B = -0,5048 \times 28 = -14,1344$$

Menghitung X^2 hitung :

$$X^2 \text{ hitung} = 2,303 \times (-14,1344 - (-14,2347275)) = 0,231029$$

$$X^2 \text{ tabel}(0,95;3) = 7,810$$

Nilai hitung Uji Barlett dari pengukuran kadar air dibanding nilai tabel adalah sebagai berikut :

X^2 hitung = 0,231029 sedangkan nilai X^2 tabel (0,95 : 3) = 7,810, karena X^2 hitung < X^2 tabel yaitu 0,231029 < 7,810 maka H_0 diterima artinya data hasil uji Barlett kadar air homogen.

4.3.3 Analisis Variansi (ANOVA)

Anova digunakan sebagai alat analisis untuk menguji hipotesis penelitian yang mana menilai adakah perbedaan rerata antara kelompok. Hasil akhir dari analisis *ANOVA* adalah nilai *F* test atau *F* hitung. Nilai *F* Hitung ini yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai pada tabel *f*. Langkah-langkah perhitungan dalam analisis variansi multifaktor adalah sebagai berikut (Mayasari, et al. 2014):

A. Menghitung harga-harga *Sum of Square (SS)* atau jumlah kuadrat (*JK*)

a. Total *Sum of Square (SS_T)* atau jumlah kuadrat total

$$SS_T = \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - CF$$

$$CF = \text{Correction Factor} = T^2/N$$

$$T = \left[\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij} \right]$$

T = jumlah hasil seluruh pengamatan

N = jumlah pengamatan

b. *Sum of Square* atau jumlah kuadrat untuk suatu faktor, misal faktor A

$$SS_A = \left[\sum_{i=1}^k \left(\frac{A_i^2}{n_A} \right) \right] - CF$$

SS_A = *Sum of Square* faktor A

A_i = jumlah nilai pengamatan di bawah level ke-i faktor A

n_A = banyaknya data pengamatan di bawah level ke-i faktor A

A_i^2 = rata-rata nilai pengamatan di bawah level ke-i faktor A

k_A = banyaknya level faktor A

c. *Sum of Square error* atau jumlah kuadrat kesalahan

$$SSE = SST - SSA - SSB - SS_{\text{interaksi}}$$

B. Menghitung *degree of freedom* (df) atau derajat bebas

a. *degree of freedom* total (df) dirumuskan dengan :

$$df = N - 1$$

b. *degree of freedom* faktor A dirumuskan dengan :

$$df_A = k_A - 1$$

c. *degree of freedom error* (dfe) dirumuskan dengan :

$$dfe = df - df_{\text{faktor}} - df_{\text{interaksi}}$$

C. Menghitung *mean of square* (MS) dengan rumus :

$$MS_A = SS_A / V_A$$

SS_A = *Sum of Square* faktor A

V_A = Derajat bebas faktor A = $k_A - 1$

$$MSe = SSe/Ve$$

SSe = Sum of Square error

$Ve = \text{Derajat bebas kesalahan (error)} = VT - VA - VB - V_{\text{interaksi}}$

D. Menghitung F ratio suatu faktor dengan rumus :

$$F_{\text{ratio}} = MS_A/Mse$$

E. Menghitung pure of square (SS') suatu faktor dengan rumus :

$$SS' = SS - (df_A \times Mse)$$

F. Menghitung persen kontribusi (P) faktor A dengan rumus :

$$P = SS_A' / SS_{\eta} \times 100\%$$

G. Menghitung nilai Signal to Noise Ratio (SNR)

Dalam penelitian ini karakteristik kualitasnya adalah Larger-the-Better (LTB).

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik.

Nilai S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{\text{LTB}} = -10 \text{ Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

H. Menghitung Efek dari tiap faktor

Perhitungan efek tiap faktor, dalam hal ini faktor kendali dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Efek faktor} = 1/a(\quad)$$

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

= nilai SNR yang digunakan

o = nomor eksperimens yang mempunyai level sama

4.3.3.1 Analisis Variansi (ANOVA) Kalori

Tabel 4.13 Data Hasil Pengukuran Kalor (kalori/gr)

		Faktor Kendali										
		A	B	C	D	E	F	Error	Data hasil Percobaan			
Trial	Column Number							Replikasi ke				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	6.151,257	6.152,737	6.152,950	6.300,242
2	1	1	1	2	2	2	2	2	6.320,421	6.345,867	6.358,745	6.417,415
3	1	2	2	1	1	2	2	2	6.320,583	6.295,704	6.152,611	6.280,284
4	1	2	2	2	2	1	1	1	5.817,246	5.665,228	5.574,694	5.715,861
5	2	1	2	1	2	1	2	2	5.569,300	5.670,810	5.958,787	5.958,787
6	2	1	2	2	1	2	1	1	6.044,882	6.734,564	6.583,416	6.453,801
7	2	2	1	1	2	2	1	1	6.307,700	6.532,984	6.732,219	6.381,559
8	2	2	1	2	1	1	2	2	5.976,131	6.014,387	6.741,601	6.612,749

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan ANOVA Kalor

Faktor	Derajat Bebas	SS	MS	F hitung	Ftabel	SS'	P
A	1	158.460,855	158460,8549	3,687457914	4,26	115487,9292	0,0328329
B	1	85,936	85,93605018	0,001999772	4,26	-42886,98963	-0,012192653
C	1	691.019,443	691019,4434	16,08034437	4,26	648046,5177	0,184237839
D	1	6.569,273	6569,273376	0,152870052	4,26	-36403,65231	-0,010349458
E	1	414.112,792	414112,7924	9,636597598	4,26	371139,8667	0,105514041
F	1	1.212.898,453	1212898,453	28,22471203	4,26	1169925,527	0,332606603
G	1	2.948,314	2948,313655	0,068608632	4,26	-40024,61203	-0,011378887
Residu	24	1.031.350,216	42972,92568				
Total	31						

Berdasarkan tujuh faktor kendali diatas, terdapat tiga faktor yaitu faktor C, E, dan faktor F mempunyai F hitung masing-masing 16,08034437 ; 9,636597598 dan 28,22471203 F tabel = 4,26 maka H₀ untuk faktor C, E dan F ditolak, berarti ada perbedaan pengaruh rata-rata faktor C, E dan F pada level yang berbeda secara signifikan terhadap kalori. Terdapat tiga faktor yaitu A, B, D dan G mempunyai F

hitung masing-masing 3,6875; 0,002; 0,1529 dan 0,0686 < Ftabel = 4,26 maka H_0 untuk faktor A, B, D dan G diterima, berarti tidak ada perbedaan pengaruh rata-rata faktor A, B, D dan G pada level yang berbeda secara signifikan terhadap kalori.

4.3.3.2 Analisis Variansi (ANOVA) Kadar Air

Tabel 4.15 Data Hasil Pengukuran Kadar Air (%)

	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan			
	A	B	C	D	E	F	Erro r				
Tri al	Column Number							Replikasi ke			
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329
2	1	1	1	2	2	2	2	5,374	5,466	5,477	5,477
3	1	2	2	1	1	2	2	6,239	6,263	6,385	6,186
4	1	2	2	2	2	1	1	6,519	6,457	6,432	6,696
5	2	1	2	1	2	1	2	6,918	7,041	6,095	6,884
6	2	1	2	2	1	2	1	6,335	6,159	6,249	6,19
7	2	2	1	1	2	2	1	5,799	6,085	5,465	5,467
8	2	2	1	2	1	1	2	6,088	6,093	6,42	6,094

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan ANOVA Kadar Air

Faktor	Derajat Bebas	SS	MS	F hitung	Ftabel	SS'	P
A	1	0,949	0,948753125	22,4662194	4,26	0,907	0,102742135
B	1	0,531	0,530965125	12,5731117	4,26	0,489	0,055391505
C	1	5,154	5,153655125	122,03717	4,26	5,111	0,57931101
D	1	0,101	0,101025125	2,39224785	4,26	0,059	0,00666361
E	1	0,131	0,131328125	3,10981476	4,26	0,089	0,010098046
F	1	0,506	0,505515125	11,9704625	4,26	0,463	0,052507091
G	1	0,439	0,438516125	10,3839442	4,26	0,396	0,044913659
Residu	24	1,014	0,042230208				
Total	31						

Berdasarkan tujuh faktor kendali diatas, terdapat lima faktor yaitu faktor A, B, C, F dan faktor G mempunyai F hitung masing-masing 22,4662194; 12,5731117; 122,03717; 11,9704625 dan 10,3839442 F tabel = 4,26 maka H₀ untuk faktor A, B, C, F dan faktor G ditolak, berarti ada perbedaan pengaruh rata-rata faktor A, B, C, F dan faktor G pada level yang berbeda secara signifikan terhadap kadar air. Terdapat dua faktor yaitu D dan E mempunyai F hitung masing-masing 2,39224785 dan 3,10981476 < F_{tabel} = 4,26 maka H₀ untuk faktor D dan E diterima, berarti tidak ada perbedaan pengaruh rata-rata faktor D dan E pada level yang berbeda secara signifikan terhadap kalori.

4.3.4 Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Dalam penelitian ini karakteristik kualitasnya adalah *Larger-the-Better* (LTB).

Karakteristik kualitas dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik.

Nilai S/N untuk jenis karakteristik LTB adalah :

$$S/N_{LTB} = -10 \text{ Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right]$$

4.3.4.1 Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) Data Kalori

Tabel 4.17 Data Perhitungan SNR Kalor (kalori/gr)

Trial	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan				
	A	B	C	D	E	F	Error	Replikasi ke				SNR
	Column Number							1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1	6.151,257	6.152,737	6.152,950	6.300,242	75,83145
2	1	1	1	2	2	2	2	6.320,421	6.345,867	6.358,745	6.417,415	76,06957
3	1	2	2	1	1	2	2	6.320,583	6.295,704	6.152,611	6.280,284	75,93325
4	1	2	2	2	2	1	1	5.817,246	5.665,228	5.574,694	5.715,861	75,10413
5	2	1	2	1	2	1	2	5.569,300	5.670,810	5.958,787	5.958,787	75,24099
6	2	1	2	2	1	2	1	6.044,882	6.734,564	6.583,416	6.453,801	76,17547
7	2	2	1	1	2	2	1	6.307,700	6.532,984	6.732,219	6.381,559	76,23499
8	2	2	1	2	1	1	2	5.976,131	6.014,387	6.741,601	6.612,749	75,99824

4.3.4.2 Perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) Data Kadar Air

Tabel 4.18 Data Perhitungan SNR Kadar Air (%)

Trial	Faktor Kendali							Data hasil Percobaan				SNR
	A	B	C	D	E	F	Error					
	Column Number							Replikasi ke				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329	14,36014
2	1	1	1	2	2	2	2	5,374	5,466	5,477	5,477	15,94118
3	1	2	2	1	1	2	2	6,239	6,263	6,385	6,186	16,28974
4	1	2	2	2	2	1	1	6,519	6,457	6,432	6,696	16,52249
5	2	1	2	1	2	1	2	6,918	7,041	6,095	6,884	15,89279
6	2	1	2	2	1	2	1	6,335	6,159	6,249	6,19	15,09744
7	2	2	1	1	2	2	1	5,799	6,085	5,465	5,467	15,80431
8	2	2	1	2	1	1	2	6,088	6,093	6,42	6,094	14,36014

4.3.5 Perhitungan Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap faktor, dalam hal ini efek tiap faktor kendali dilakukan dengan menggunakan rumus :

$$Efek\ faktor = 1/a(\quad)$$

a = jumlah munculnya tiap level faktor dalam suatu kolom matriks orthogonal

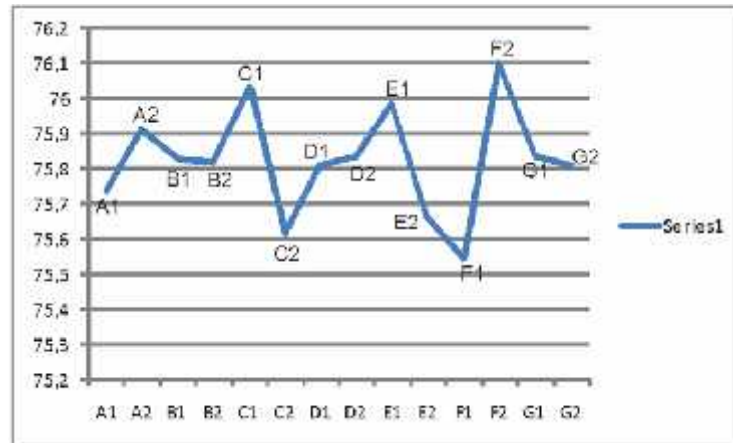
= nilai SNR yang digunakan

o = nomor eksperimens yang mempunyai level sama

4.3.5.1 Perhitungan Efek Tiap Faktor data Kalori

Tabel 4.19 Nilai SNR Tiap Faktor Utama Respon Kalori

Faktor	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	75,7346	75,82937	76,03356	75,81017	75,9846	75,5437	75,83651
Level 2	75,91242	75,81765	75,61346	75,83685	75,66242	76,10332	75,81051
Selisih	0,177821	0,011718	0,420103	0,026684	0,322183	0,559618	0,025998
Rangking	4	7	2	5	3	1	6
Optimasi	A2	B1	C1	D2	E1	F2	G1



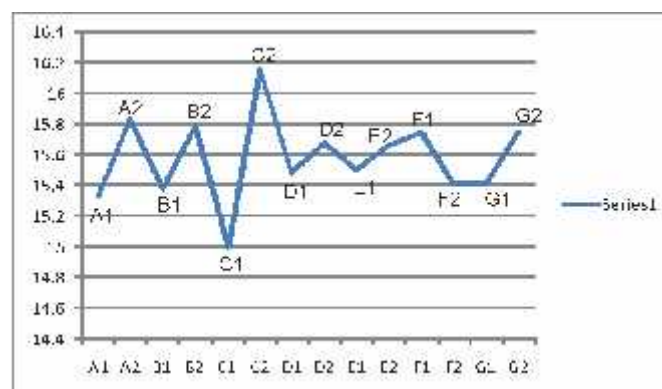
Gambar 4.2 Garfik SNR Kalor

Kombinasi terbaik : A2, B1, C1, D2, E1, F2 dan G1

4.3.5.2 Perhitungan Efek Tiap Faktor data Kadar Air

Tabel 4.20 Nilai SNR Tiap Faktor Utama Respon Kadar Air

Faktor	A	B	C	D	E	F	G
Level 1	15,32894	15,37503	14,99665	15,48031	15,4996	15,74417	15,41003
Level 2	15,82926	15,78317	16,16155	15,67789	15,6586	15,41403	15,74817
Selisih	0,500314	0,408135	1,164903	0,197576	0,158991	0,330139	0,338141
Rangking	2	3	1	6	7	5	4
Optimasi	A2	B2	C2	D2	E2	F1	G2



Gambar 4.3 Grafik SNR Kadar Air

Kombinasi faktor terbaik : A2, B2, C2, D2, E2, F1, G2

Karena berdasarkan Anova, faktor yang signifikan berpengaruh berturut-turut dari yang terkuat adalah :

- a. Kalori : C, E, F
- b. Kadar air : A, B, C, F, G

Jadi faktor yang berpengaruh secara signifikan adalah A, B, C, E, F dan G. Sedangkan faktor yang tidak berpengaruh secara signifikan adalah faktor D, diambil biaya yang termurah yaitu D1. Faktor yang berpengaruh terhadap kalori dan kadar air secara simultan adalah A, B, C, E, F dan G sehingga diperlukan analisis terhadap 64 alternatif kombinasi sebagaimana tabel dibawah berikut:

Tabel 4.21. 1/16 FFE (Fractional-Factorial Experiment)

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
		D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	
E1	F1	G1	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121
	G2	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122	
F1	G1	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123	
	G2	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124	
E2	F1	G1	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125
	G2	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126	
F2	G1	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127	
	G2	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	

4.3.6 Hasil Eksperimen Prediksi

Berdasarkan data pada tabel kalori dan 1/16 FFE (*Fractional-Factorial Experiment*) dengan 6 faktor yang berpengaruh secara signifikan, menggunakan metode regresi linear berganda dapat disusun tabel model regresi linear berganda kalori berikut

Tabel 4.22 Model Regresi Linear Berganda Kalori

Replikasi ke	Model Regresi
1	$Y = 6,3269 - 0,177874 A + 8,39 B - 0,251 C - 4,75 D - 0,12 E + 0,37 F - 3,37 G$
2	$Y = 6,1051 + 0,123 A - 9,89 B - 0,17 C + 2,7 D - 0,246 E + 0,602 F - 0,19 G$
3	$Y = 5,8951 + 0,4443 A + 3,68 B - 4,29 C + 6,55 D - 0,252 E + 0,35 F + 4,21 G$
4	$Y = 6,3706 + 0,1733 A - 3,49 B - 0,326 C + 6,97 D - 0,2934 E + 0,236 F + 0,104 G$

Berdasarkan tabel di atas dapat disusun penomoran untuk trial 1/16 FFE (*Fractional-Factorial Experiment*) dengan 6 faktor 2 level sebagai berikut :

Tabel 4.23. 1/16 FFE (Fractional-Factorial Experiment)

		A1				A2				B1				B2			
		F1		F2		F1		F2		F1		F2		F1		F2	
		D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
F1	KG1	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121
	KG2	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	122
F2	KG1	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	123
	KG2	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	124
E2	KG1	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	125
	KG2	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	126
F2	KG1	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	127
	KG2	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128

Warna hijau dan kuning adalah trial 1/16 FFE (*Fractional-Factorial Experiment*) dengan 6 faktor 2 level, sehingga diperlukan analisis terhadap 64 trial alternatif kombinasi.

Berdasarkan model regresi linear berganda dan penomoran untuk trial 1/16 FFE (*Fractional-Factorial Experiment*) dapat disusun hasil prediksi kalori sebagaimana tabel 4.24 dalam lampiran 12.

Tabel 4.25 Model Regresi Linear Berganda Kadar air

Replikasi ke	Model Regresi
1	$Y = 3352,75 + 463,75 A + 216,25 B + 899,25 C + 51,75 D + 198,75 E - 232,75 F + 203,25 G$
2	$Y = 3392,5 + 499,5 A + 259,5 B + 770,5 C - 102 D + 335 E - 203 F + 242 G$
3	$Y = 5182,5 - 1267 A - 1030,5 B + 2088 C - 1092,5 D + 1242 E + 1295,5 F - 1193 G$
4	$Y = 5299 - 1156 A + 1533,5 B - 495,5 C - 1245 D + 1574 E - 1813,5 F + 1632,5 G$

Berdasarkan model regresi linear berganda dan penomoran untuk trial 1/16 FFE (*Fractional-Factorial Experiment*) dapat disusun hasil prediksi kadar air sebagaimana tabel 4.26 dalam lampiran 13.

4.3.7 Penentuan Level Faktor Kondisi Optimal Menggunakan MRSN

Karena kondisi optimal kalori dan kadar air diperoleh dari kombinasi level faktor yang berbeda, maka diperlukan analisis untuk mengoptimalkan kondisi yang berbeda tersebut menggunakan Taguchi multi respon. Taguchi multi respon yang digunakan dalam penelitian ini adalah prosedur MRSN. Langkah-langkah yang sistematis dalam

melakukan eksperimen multi respon dengan menggunakan *Multi Respon Signal to Noise Ratio* (MRSN) terdiri dari beberapa tahapan, yaitu (Lestari, 2009) :

A. Menghitung *quality loss* (L_{ij}) untuk setiap trial.

Karakteristik kualitas kalor dan kadar air hasil adalah *Larger-the-better* (LTB),

$$L_{ij} = k \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} \frac{1}{y_{ijk}^2}$$

dengan :

y_{ijk} = data untuk respon ke-i, trial ke-j, replikasi ke-k ;

n_i = replikasi untuk respon ke-i ;

k = koefisien dari *quality loss*

Untuk menaikkan kalori dari 6300(kalori/gr) menjadi 6520 (kalori/gr) dibutuhkan tambahan biaya Rp. 6000 sehingga fungsi kerugian (k) = $6000/(48400) = \text{Rp} \cdot 0,123966942$; sedangkan untuk menurunkan kadar air dari 6,979 (%) menjadi 5,329 (%) dibutuhkan tambahan biaya Rp . 6000 sehingga fungsi kerugian (k) untuk = $6000/(2,7225) = \text{Rp} 2203,856749$

B. Menentukan *Multi Respon Signal to Noise Ratio* (MRSN).

a. Menentukan *quality loss* maksimum untuk tiap respon.

b. Normalisasi *quality loss* (C_{ij}) tiap eksperimen.

$$C_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i^*}$$

dengan $L_i^* = \max \{L_{i1}, L_{i2}, \dots, L_{ij}\}$

c. Menghitung *total normalized quality loss* (TNQL) setiap eksperimen :

$$TNQL_i = \sum_{i=1}^m w_i C_{ij}$$

dengan : w_i = bobot dari normalisasi respon ke-i

Kalor hasil arang relatif lebih penting dibanding kadar air hasil arang dan dipilih istilah linguistiknya "*High*" dan "*Medium*". Tingkat kepentingan relatif ditunjukkan oleh tabel *linguistic term*. Istilah tersebut dikonversikan kedalam bilangan *fuzzy*. Berdasarkan tabel *crisp scores of fuzzy number*, diperoleh 1) kalori = 0,75 dan 2) kadar air = 0,583 Jadi bobot kalori (W1) = $0.750 / (0.750 + 0.583) = 0.562641$, bobot kadar air (W2) = $0.583 / (0.750 + 0.583) = 0.43735$

d. Menghitung MRSN ratio setiap eksperimen.

$$MRSN_j = -10 \log(TNQL_j)$$

Nilai MRSN j dapat dilihat pada tabel berikut :

C. Menentukan kombinasi level faktor yang optimal berdasarkan nilai MRSN terbesar

Berdasarkan nilai MRSN sebagaimana tabel 4.27 dalam lampiran 14 diperoleh kombinasi level faktor yang menghasilkan respon optimum terletak pada trial ke 55 yaitu kombinasi level faktor A2, B2, C1, D1, E2, F2, G1 dengan nilai MRSN **1,273636**. Kombinasi ini mampu menaikkan kalori yang semula rata-rata 5693 (kalori/gr) menjadi 6489 (kalori/gr) (naik 795,4 kalori/gr) dan menurunkan kadar air yang semula rata-rata 6,735 (%) menjadi 5,704 (%) turun 1,031%.

BAB V

PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penelitian ini didasarkan atas hasil aktivitas penelitian yang sesuai dengan diagram alir penelitian, dimana tahapan aktivitas sebagai berikut :

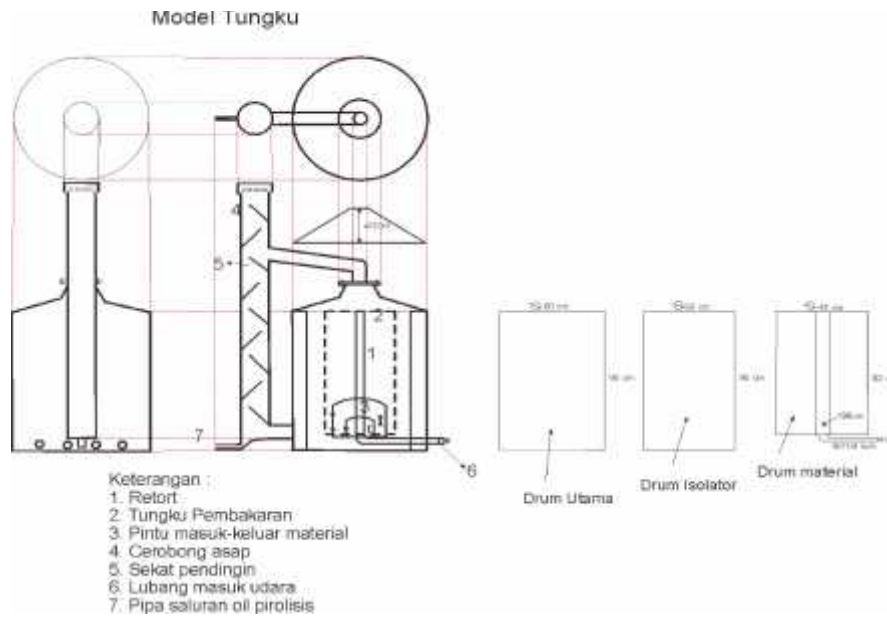
5.1 Diskusi dan Wawancara Stakeholder

Diskusi terakhir untuk kritik dan usulan rancang bangun model tungku pembuat arang yang sesuai dengan keinginan pengguna dan stakeholder dan berbasis green ergonomi adalah tungku dengan kriteria sebagai berikut :

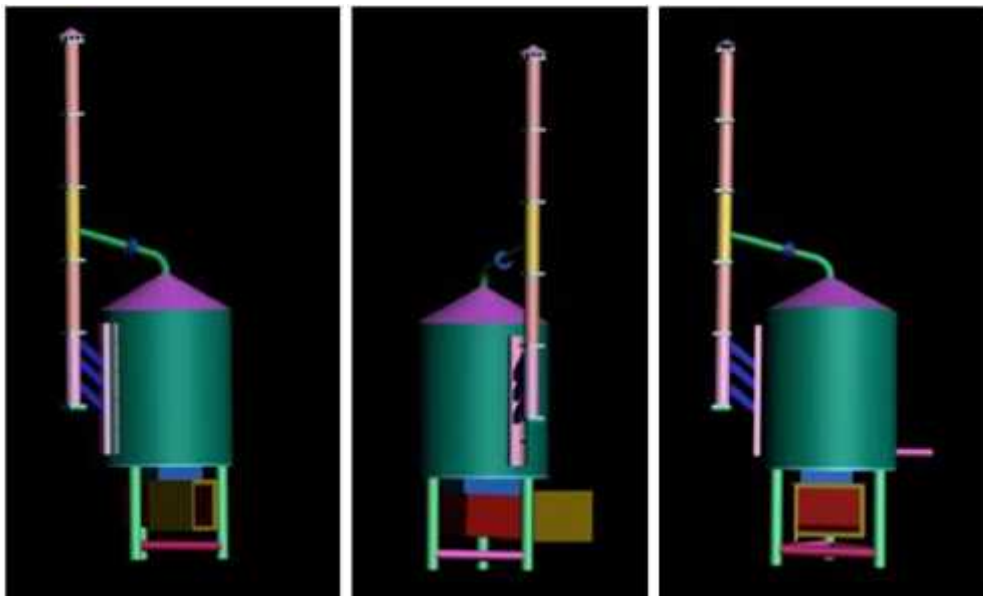
- A. Kemudahan dalam menjalankan proses
- B. Aman, karena dalam proses dan pemanenan tidak berisiko seperti tungku yang ada
- C. Nyaman, kemudahan pengontrolan pembakaran sehingga bisa ditinggal dan tidak khawatir terjadi proses pembakaran berlanjut
- D. Sehat, polutan debu dan asap tidak banyak sehingga tidak berbahaya bagi kesehatan dan ramah lingkungan (green)
- E. Murah, pembuatan tungku cukup dari barang bekas atau memakai bahan alam yang tersedia

5.2 Rancang Bangun Alat

Dari data yang didapat seperti diatas rancang bangun tungku pembuat arang berbasis green ergonomi kombinasi *retord kiln*, *eartmound kiln* dan *drum kiln* adalah sebagai berikut :



Gambar 5.1a Prototipe Bangun Tungku 2 Dimensi



Gambar 5.1b Prototipe Bangun Tungku 3 Dimensi

Dengan dimensi tungku sesuai hasil kesepakatan FGD II :

- A. Model Cerobong dengan panjang 4-5 m dengan asap diatas genteng, aman untuk pekerja dan lingkungan
- B. Konstruksi tempat pembakaran vertikal dengan penambahan tempat material/keranjang untuk kemudahan pengambilan hasil, debu terkonsentrasi dalam tungku sehingga pekerja tidak terpapar langsung
- C. Tempat inisiasi pembakaran dengan tinggi disesuaikan dengan kursi kecil yang nyaman sehingga tidak jongkok dan tidak cepat capek
- D. Jumlah lubang pengatur udara satu sentral untuk kemudahan kontrol asupan udara sehingga tidak kuatir berlanjut terbakar dan menurunkan rendemen

5.3 Karakteristik Tungku ramah lingkungan versus Tungku Tradisional

Tabel 5.1 Tabel Karakteristik tungku tradisional versus ramah lingkungan

No	Karateristik ramah lingkungan	Tungku Tradisional	Tungku Berbasis ramah lingkungan
1	Lingkungan	15% limbah debu hasil pembakaran tersebar radius 20 m sekitar produksi, asap radius 50 m	2% limbah debu hasil pembakaran/panen tersebar radius 3 m sekitar produksi, cerobong panjang 4-5 m, asap tersebar diatas atap rumah
2	Ruang kerja	Terbuka, 3x3 m (1,5x1,5 m ukuran tungku)	Bisa terbuka dan tertutup karena asap tersebar diatas atap rumah, 3x3 m (1,5x1,5 m ukuran tungku),

Lanjutan

No	Karateristik ramah lingkungan	Tungku Tradisional	Tungku Berbasis ramah lingkungan
3	Mesin produksi	Sekali pakai, bongkar bangun, penyalaan pembakaran jongkok, 2 hari tiap membangun, penyalaan 6-8 jam diawasi bergantian	Sekali saja membangun, penyalaan pembakaran dengan posisi duduk di kursi kecil, kontrol nyala api 2-3 jam stabil saat pembakaran
4	Proses	5 hari tiap proses, dipengaruhi kondisi cuaca	2 hari tiap proses, paparan debu dan asap lebih sedikit, tidak dipengaruhi oleh cuaca
5	Hasil	19-23% rendemen, nilai kalori 5786 kal/gr, kadar air 6,27%, relatif masih mengeluarkan asap banyak.	25-30% rendemen, nilai kalori 6489 kal/gr, kadar air 5,704%, asap relatif sedikit
6	Beban kerja	2-3 pekerja, pembiayaan relatif besar	1-2 orang sehingga pembiayaan relatif murah
7	Aman	Saat panen berhubungan langsung dengan bara, asap dan debu, 400-500°C, partikel asap dan debu pada pembakaran kayu berukuran antara 0,4-0,7 µm ukuran sama dengan PM 2,5 akibatkan gangguan pernafasan	Panen setelah drum dingin suhu ruangan 27°C, partikel asap dan debu terkonsentrasi dalam drum

Lanjutan

No	Karateristik ramah lingkungan	Tungku Tradisional	Tungku Berbasis ramah lingkungan
8	Nyaman	Penyalan pembakaran jongkok, harus ditunggu saat pembakaran, 6-8 jam bergantian untuk menjaga api tetap menyala	penyalan pembakaran dengan posisi duduk di kursi kecil, 2-3 jam menyala stabil, bisa ditinggal mengerjakan yang lain
9	Efisien	Kontrol sulit 6-8 lubang pembakaran, penutupan dengan tanah memberikan pori seluruh permukaan tungku sehingga proses pembakaran berlanjut karena pasokan udara terlalu banyak, lebih dari 2 orang sehingga pembiayaan relatif besar	1 lubang pembakaran, 1 lubang kontrol udara, kontrol mudah, 1-2 orang sehingga pembiayaan relatif kecil
10	Kesehatan pekerja	6-8 jam terpapar polutan asap dan saat panen terpapar debu dan panas, asap menyebar sampai radius 50 m, 30% limbah debu radius 20 m sekitar produksi, partikel asap dan debu pada pembakaran kayu berukuran antara 0,4-0,7 μm ukuran sama dengan PM 2,5 akibatkan gangguan pernafasan	Terjamin, debu terkonsentrasi di dalam drum dan asap arah keatas, cerobong 4-5 m

Lanjutan

No	Karakteristik ramah lingkungan	Tungku Tradisional	Tungku Berbasis ramah lingkungan
11	Kesehatan lingkungan	Selama 3 hari terpapar polutan asap dan debu, asap menyebar sampai radius 50 m, 30% limbah debu radius 20 m sekitar produksi, partikel asap dan debu pada pembakaran kayu berukuran antara 0,4-0,7 μm ukuran sama dengan PM 2,5 akibatkan gangguan pernafasan	Terjamin,debu terkonsentrasi di dalam drum dan asap arah keatas, Cerobong 4-5 m , saat panen debu radius 2-3m

Dari matriks perbandingan karakteristik tungku diatas, tungku yang dibangun berdasar green ergonomi adalah sebagai berikut :

A. Efek terhadap lingkungan :

Lebih ramah lingkungan, 2% limbah debu hasil pembakaran/panen tersebar radius 3 m sekitar produksi sehingga paparan debu yang berbahaya lebih sedikit, cerobong panjang 4-5 m, asap tersebar diatas atap rumah dan polutan asap relatif lebih sedikit.

B. Ruang kerja

Bisa terbuka dan tertutup karena asap tersebar diatas atap rumah tidak mengganggu pekerja dan lingkungan kerja, 3x3 m (1,5x1,5 m ukuran tungku).

C. Mesin produksi

Sekali saja membangun sehingga debu hasil pembakaran tidak berterbangan dan mengganggu kesehatan pekerja dan lingkungan saat bongkar pasang (membangun), penyalaan pembakaran dengan posisi duduk di kursi kecil santai dan tidak capek,

kontrol nyala api 2-3 jam stabil saat pembakaran dan bisa ditinggal sehingga pekerja tidak terpapar polutan asap tidak terlalu lama

D. Proses

2 hari tiap proses, paparan debu dan asap lebih sedikit, tidak dipengaruhi oleh cuaca

E. Hasil

25-30% rendemen, tidak banyak material terbakar hasil debu lebih sedikit sehingga polutan lebih sedikit, nilai kalori 6489 kal/gr, peningkatan nilai kalor menandakan berkurangnya kadar air sehingga asap yang dihasilkan lebih sedikit, kadar air 5,704%, rendahnya kandungan air memberikan hasil pembakaran dengan asap relatif sedikit.

Produk output memenuhi kriteria permintaan pasar, masuk dalam standar SNI dan persyaratan negara pemakai(Amerika, Jepang dan Inggris)

F. Beban kerja

Dengan hanya sekali membangun tungku tidak ada lagi bongkar pasang (membangun) sehingga proses pengisian sampai pembakaran cukup seorang pekerja, tidak ada bongkar pasang tidak ada paparan debu dan asap, biaya relatif murah

G. Aman

Panen setelah drum dingin suhu ruangan 27°C, partikel asap dan debu terkonsentrasi dalam drum

H. Nyaman

Penyalan pembakaran dengan posisi duduk di kursi kecil, 2-3 jam menyala stabil sehingga tidak terlalu lama terpapar asap, bisa ditinggal mengerjakan yang lain

I. Efisien

1 lubang pembakaran, 1 lubang kontrol udara, kontrol mudah, tidak banyak terbakar habis menjadi debu, hasil 25-30% rendemen, pelaksanaan proses 1-2 orang sehingga pembiayaan relatif kecil

J. Kesehatan pekerja

Terjamin, debu terkonsentrasi di dalam drum dan asap arah keatas, cerobong 4-5 m

K. Kesehatan lingkungan

Terjamin, debu terkonsentrasi di dalam drum dan asap arah keatas, cerobong 4-5 m , saat panen debu radius 2-3m

L. Sisi Teknologi

Proses pembuatan cukup mudah ditiru, bahan bekas maupun bahan alam tersedia melimpah, polutan terarah-cerobong atas, input udara bisa diatur, hasil mudah diambil

5.4 Metode Taguchi untuk mengukur karakteristik tungku green ergonomi melalui hasil eksperimen pengukuran kalori dan kadar air.

5.4.1 Analisis Variansi (ANOVA)

Analisis Variansi dilakukan untuk mengetahui apakah faktor-faktor kendali berpengaruh signifikan terhadap variabel respon kalor dan kadar air.

Faktor yang berpengaruh secara signifikan adalah A, B, C, E, F dan G. Sedangkan faktor yang tidak berpengaruh secara signifikan adalah faktor D, diambil biaya yang termurah yaitu D1. Faktor yang berpengaruh terhadap kalori dan kadar air secara simultan adalah A, B, C, E, F dan G.

Dari jumlah faktor berpengaruh secara signifikan ada 6 faktor sehingga diperlukan eksperimen prediksi $2^6 = 64$ alternatif kombinasi untuk menentukan kombinasi faktor dan level optimal.

5.4.2 Proses Kontribusi

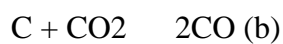
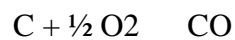
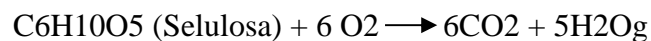
Berdasarkan nilai persen pada tabel 4.14 dan 4.16 , faktor C mempunyai nilai persen kontribusi yang paling besar yaitu 57%. Sehingga dapat diartikan bahwa faktor volume material sangat mempengaruhi kadar air hasil, dan faktor F = 33% yaitu kombinasi lama proses dan volume sangat mempengaruhi kalor hasil.

5.4.3 Pemilihan Level Faktor

Berdasar nilai SNR dengan kriteria *Higher is Better* untuk tiap faktor yang ada, maka dapat diketahui kombinasi level faktor terbaik yang dapat mengoptimalkan respon kalor adalah A2, B2, C1, D1, E2, F2, G1, dengan nilai MRSN **1,273636**. Kombinasi ini mampu menaikkan kalori yang semula rata-rata 5693 (kalori/gr) menjadi 6489 (kalori/gr) (naik 795,4 kalori/gr) dan menurunkan kadar air yang semula rata-rata 6,735 (%) menjadi 5,704 (%) turun 1,031%.

Dari perhitungan dengan metode Taguchi nilai kalor dan kadar air berturut-turut 6489 (kalori/gr) dan 5,704 (%) nilai tersebut lebih memenuhi kriteria green dibanding 5693 (kalori/gr) serta 6,735 (%).

Reaksi Pembakaran Kayu :



Reaksi diatas menunjukkan dengan kadar air yang tinggi maka asap yang terbentuk juga banyak (CO₂, H₂Og, CO dan H₂).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasar hasil pengolahan data dan analisa yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan :

- A. Tungku pembuat arang berbasis green ergonomi dengan model kombinasi *retord kiln, eartmound kiln dan drum kiln* memiliki sifat green ergonomi dengan karakteristik (1)mudah dan murah, (2)nyaman, (3)aman (4)efisien (5)proses terkontrol (6)beban kerja lebih ringan (7)ramah lingkungan dan kesehatan, (8)produk output green
- B. Teknologi mudah (1)Proses pembuatan cukup mudah ditiru, (2)bahan bekas maupun bahan alam tersedia melimpah, (3)polutan terarah-cerobong atas, (4)input udara bisa diatur, (5)hasil mudah diambil
- C. Dengan analisa multilevel faktor metode Taguchi menggunakan *Multi Respon Signal to Noise Ratio* (MRSN) didapat kombinasi level faktor terbaik yang dapat mengoptimalkan respon kalor adalah A2, B2, C1, D1, E2, F2, G1, dengan nilai MRSN **1,273636**. Kombinasi ini mampu menaikkan kalori yang semula rata-rata 5693 (kalori/gr) menjadi 6489 (kalori/gr) (naik 795,4 kalori/gr) .

6.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- A. Perbaiki waktu proses dengan menambahkan lubang pengatur udara didasar drum utama tungku

- B. Untuk proses dengan kapasitas diatas 3m^3 tutup bisa dibuatkan dengan derek diatas tungku sekaligus untuk mengangkat drum material hasil sehingga lebih aman dan nyaman.
- C. Penambahan lubang pengatur udara memberikan keuntungan antara lain tidak tergantung kadar air material, produktivitas lebih banyak (cepat)

DaftarPustaka

- Douglas, H. P., Sarah, E. P., Thomas, J. S. 2014. Charcoal production in Tooele County, Utah a historical record of a forgotten industry, Tooele County Historical Society Tooele, Utah Special Publication 1September.
- Kharie, A. 2016. Buku besar masakan. Cipedak Jagakarsa jakarta selatan :PT. Agromedia Pustaka.
- Lempang, M. 2014. Pembuatan dan kegunaan arang aktif, Balai Penelitian Kehutanan Makassar, Info Teknis EBONI Vol. 11 No. 2,p. 65 – 80
- Kemendag . 2016. Berita perdagangan, kementerian perdagangan negara republik Indonesia. Diakses 22 Juni 2016. Tersedia di <http://www.kemendag.go.id/id/search>.
- Istiqomah, K. 2015. Permintaan arang membuat hidup tak mudah patah, Bisnis.com.JIBI Harian Jogja.
- Gedangsari. 2013. Produksi arang kayu laris manis. Diakses tanggal 22 Juni 2016. Tersedia di <http://www.gedangsari.com/produksi-arang-kayu-laris-manis-di-pasar>.
- Berita Daerah. 2014. Permintaan arang meningkat. Diakses 22 Juni 2016. Tersedia di <http://beritadaerah.co.id/2014/09/17/permintaan-arang-meningkat-di-tasikmalaya>.
- Kemendag . 2016. Berita perdagangan, kementerian perdagangan negara republik Indonesia. Diakses 22 Juni 2016. Tersedia di <http://www.kemendag.go.id/id/search>.
- Emrich, W. 1985. Handbook of charcoal making., series E vol.7., energy from biomass., solar energy R & D in the European community. D.Reidel Publishing Company.
- Ganesan, S., Nema, B.P. 2006. Charcoal making from agricultural residues. Principal Scientists, Central Institute of Agricultural Engineering, Berasia Road, Bhopal-462038, India.
- Sumarni., Purwanti, A. 2008. Kinetika reaksi pirolisis plastik low density polyethylene (ldpe). Jurnal Teknologi, Vol. 1 No. 2.p. 135 -140.
- Gomaa, H., Fathi, M. 2000. A simple charcoal kiln for hardwoods or other dense biomass. ICEHM2000, Cairo University, Egypt, p. 167- 174.
- Miharja,Y. 2011. Analisis ergonomi pada desain produk jok mobil pengemudi tipe minibus. Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
- Restantin,N.Y., Ushada, M., Ainuri, M.2012. Desain Prototipe Meja dan Kursi Pantai Portabel dengan Integrasi Pendekatan Ergonomi, Value Engineeringdan Kansei Engineering.Jurnal Teknik Industri, Vol. 14, No. 1, Juni 2012, 53-62
- Hermawan,Y.2011.Pengembangan dan analisis ergonomi kursi operator mesin vulkanisir ban dengan metode reverse engineering.Jurnal ROTOR, Volume 4 Nomor1, Januari 2011
- Pilar,H.M.2014. Assessment on the ergonomic factors and green building features of the selected 2012 green classrooms in the Philippines Luzon area. Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations ManagementBali, Indonesia, January 7 – 9, 2014

- Kralj, A. K., Hsiao, J.M., Kralj, D.2013. Energy-efficient production process trough “Green” Management.Issue 2, Volume 9, April 2013.
- Tirono,M dan Sabit,A. 2011. Efek suhu pada proses pengarangan terhadap nilai kalor arang tempurung kelapa. Jurnal Neutrino Vol.3,No.2,April 2011
- Bahri, S. 2007. Pemanfaatan limbah industri pengolahan kayu untuk pembuatan briket arang dalam mengurangi pencemaran lingkungan di Nanggroe Aceh Darussalam. Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatra Utara Medan.
- Jati, B.M.E., Santoso, A.B. 2005. Penentuan kalor bakar arang dari sejumlah jenis kayu dan lama pirolisis. Jurnal Fisika Indonewsia, No:28,Vol.IX. Edisi Desember 2005 ISSN : 1410-2994.hal.165-174.
- Surono, U.B. 2010. Peningkatan kualitas pembakaran biomassa limbah tongkol jagung sebagai bahan bakar alternatif dengan proses karbonisasi dan pembriketan. Jurnal rekayasa proses , volume 4, No.1, 2010
- Gomaa,H., Fathi,M. 2000. A simple charcoal kilnfor hardwoods or other dense biomass(quick, efficient, economic with low environmental impact). Cairo University, Egypt, September, 2000, page 167- 174
- Mohan, D., Patel, R. 1992. Design of safer agricultural equipment: Application of ergonomics and epidemiology. International Journal of Industrial Ergonomics, December 1992
- Reilly, T., Lees, A. 1984. Exercise and sports equipment: Some ergonomics aspects. Applied Ergonomics, December 1984
- Rohles, F. H. 1985. Environmental ergonomics in agricultural systems. Applied Ergonomics, September 1985
- Mital, A. 1995. The role of ergonomics in designing for manufacturability and humans in general in advanced manufacturing technology: Preparing the American workforce for global competition beyond the year 2000. International Journal of Industrial Ergonomics, February 1995
- Carr, D. J., Wilson, C.A., Laing, R. M. 2012. Anthropometric methods for the successful design of military clothing and equipment. Advances in Military Textiles and Personal Equipment, 2012(Book)
- Dolez, P. I., Mlynarek, J. 2016. Smart materials for personal protective equipment tendencies and recent developments. Smart Textiles and their Applications, 2016 (Book)
- Siahaan, S., Hutapea, M., Hasibuan, R. 2013. Penentuan kondisi optimum suhu dan waktu karbonisasi pada pembuatan arang dari sekam padi. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol. 2, No. 1 (2013)
- Nabawiyah, K., Abthoki, A. 2010. Penentuan nilai kalor dengan bahan bakar kayu sesudah pengarangan serta hubungannya dengan nilai porositas zat padat. Jurnal Neutrino Vol.3, No. 1, Oktober 2010

- Triono, A. 2006. Karakteristik briket arang dari campuran serbuk gergajian kayu afrika (*Maesopsis eminii* Engl) dan sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) dengan penambahan tempurung kelapa (*Cocos nucifera* L). Departemen Hasil Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor 2006
- Perez, M.G., Nunez, J.A.G., Lewis, T., Kruger, C., Kantor, S. 2012. Methods for producing biochar and advanced bio-fuels in Washington State. Biological Systems Engineering Department, Washington State University
- Ndraha, N. 2009. Uji komposisi bahan pembuat briket bioarang tempurung kelapa dan serbuk kayu terhadap mutu yang dihasilkan. Departemen Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara
- Wijaya, I. 2015. Pengaruh komposisi biomassa serbuk kayu dan batu bara terhadap performansi pada co-gasifikasi sirkulasi fluidized bed. Jurusan Teknik Mesin non reguler Fakultas Teknik Universitas Udayana 2015.
- Wijayanti, D.S. 2009. Karakteristik briket arang dari serbuk gergaji dengan penambahan arang cangkang kelapa sawit. Departemen Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara
- Anderson, P.S., McLaughlin, H. 2009. Biochar Basics: An introduction about the what and why of biochar. Northeast Biochar Symposium, November 13 at the University of Massachusetts Amherst
- Ganesan, S., Nema, B.P. 2006. Charcoal making from agricultural residues. Principal Scientists, Central Institute of Agricultural Engineering, Bhasia Road, Bhopal-462038, India.
- Bahri, S. 2007. Pemanfaatan limbah industri pengolahan kayu untuk pembuatan briket arang dalam mengurangi pencemaran lingkungan di Nanggroe Aceh Darussalam. Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatra Utara Medan.
- Sinha, S., Jhalani, A., Ravi, M.R., Ray, A.J. 2000. Solar Energy Society of India (SESI) 2000, 10 (1), 41-62.
- Sumarni, Purwanti, A. 2008. Kinetika reaksi pirolisis plastik low density polyethylene (ldpe). Jurnal Teknologi, Volume. 1 Nomor 2, Desember 2008, 135 -140
- Mohan, D., Pittman, C.U.Jr., Steele, P.H. 2005. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy & Fuels* 2006, 20, 848-889.
- Kotler, P. 2009. Manajemen Pemasaran. Jilid II, Edisi Kesebelas. Hak cipta © 2002 Pearson education Asia Pte.Ltd dan PT Prenhallindo, Jakarta
- Juran, J.M., Goodfrey, A.B. 1998. *Juran's Quality Handbook*. 5th. New York: Mc-Graw Hill Book, Inc.
- Juran, J.M., Goodfrey, A.B. 2004. *Juran's Quality Planning and Analysis*. 3th. New York: Mc-Graw Hill Book, Inc

- Morales, K. L., Thatcher, A., Acosta, G. G. 2014,. Synergies between ergo-ecology and green ergonomics: a contribution towards a sustainability agenda for HFE. Human factors in organizational design and management – xi . Nordic ergonomics society annual conference – 46
- Yudenkova, O., Savina., E. 2015. Moscow higher education institutions: Eco-ergonomic aspects of operation and environmental initiatives. International Scientific Conference Urban Civil Engineering and Municipal Facilities,SPbUCEMF-2015
- Naskoudakisa, I., Petroutsatoub, K. 2016. A thematic review of main researches on construction equipmentover the recent years. Creative Construction Conference 2016 (CCC2016), 25-28 June 2016
- Samil, F., David, N. V. 2012. An ergonomic study of a conventional ballistic helmet. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012)
- Maharani,S., Dania, W.A.P., Effendi, M. 2014.Analisis efisiensi distribusi produk dengan metode data envelopment analysis (DEA) .JurusanTeknologi Industri Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Malang.
- Rahmatullah, A. 2014. Kadar zat ekstraktif dan nilai kalor kayu yang berbeda kerapatan. Skripsi fakultas kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Faisal, F.,Yunus, F., Harahap, F. 2012. Dampak asap kebakaran hutan pada pernapasan. Departemen pulmonologi dan ilmu kedokteran respirasi, fakultas kedokteran Universitas Indonesia - RS Persahabatan, Jakarta, Indonesia. CDK-189/ vol. 39 no. 1, th. 2012.
- Permenkes RI. 2011. Pedoman penyehatan udara dalam ruang rumah. Peraturan menteri kesehatan Republik Indonesia nomor 1077/menkes/per/v/2011.
- Corlett, E.N., Clark, T.S. 1995. The ergonomics of workspace and machine. A design manual, 2nd edt. Taylor & Francis. Great Britain.
- Pheasant, S., Haslegrave, C.M. 2006. Bodyspace : Anthropometry, ergonomics and the design of work, 3th edt. Taylor & Francis. Great Britain.
- Ushada, M., Khuriyati, N., Agustriana, S., Okayama, T. 2016. Evaluation of Kanzei engineering-based sensor for workload monitoring in agroindustry. Gadjah Mada, Faculty of Agricultural Technology, Jogjakarta.
- Zadry, H., Susanti, L., Rahmayanti. 2016. Anthropometric dimensions of west Sumatra farmers. Departement of industrial engineering, faculty of engineering, University of Andalas, Indonesia.
- Batubara, H. 2016. Re-design of liquid aluminium pouring tool based on participatory ergonomics to improve productivity, workload an musculo-skeletal disorder. Industrial engineering departement of Tanjungpura University, Indonesia.
- Thatcer, A., Acosta, G.G., Morales, K.L. 2013. Design principles for green ergonomics. National University of Colombia.

- Sudiro., Suroto, S. 2014. Pengaruh komposisi dan ukuran serbuk briket yang terbuat dari Batubara dan jerami padi terhadap karakteristik pembakaran. Jurnal Sainstech Politeknik Indonusa Surakarta ISSN : 2355-5009 Vol. 1 Nomor 2 Tahun 2014
- Mayasari,A, I., Wuryandari, T., Hoyyie, A., 2014. Optimalisasi proses produksi yang melibatkan beberapa faktor dengan level yang berbeda menggunakan metode taguchi. Jurnal gaussian, Volume 3, Nomor 3, Tahun 2014, Halaman 303 – 312
- Soejanto, I., 2009. Desain eksperimen dengan metode Taguchi. Edisi pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta-Indonesia
- Philips, J.R., 1996. Taguchi techniques for quality engineering. Second Edition, McGraw-Hill, New York, Amerika.
- Sudjana, 1997. Metode Statistik, Bandung : Tarsito
- Belavandram, N. 1995. Quality by Design :Taguchi Technique for Industrial Experimentation. First Edition, Prentise Hall, London.
- Ross, P.J. (1996) Taguchi Techniques for Quality Engineering. Mcgraw-Hill International Editions, New York, 329.
- Suardi Rudi, 2003. Sistem manajemen Mutu ISO 9000:2000, Jakarta: PPM
- Suma'mur, 2013. Higiene perusahaan dan kesehatan kerja (HIPERKES) (Edisi 2). Penerbit Sagung Seto.
- Faizal, M., Andynaprawati, I., Putri, P.D.A., 2014. Pengaruh komposisi arang dan perekat terhadap kualitas biobriket dari kayu karet. Teknik Kimia No. 2, Vol. 20, April 2014. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- Salim, R, 2016. Karakteristik dan mutu arang kayu jati (*Tectona grandis*) dengan sistem pengarangan campuran pada metode yungku drum. Balai Riset dan Standardisasi Industri Banjarbaru, Kalimantan Selatan.

Lampiran 1

Resume mapping - Desa Girikarto- Kec.Panggang - Kabupaten Gunungkidul

No	Tahap	Tujuan	Stakeholder	Metode	Objek Penelitian	Instrumen	Permasalahan
1	Studi Pendahuluan 	Pengumpulan informasi awal penelitian untuk mendapatkan permasalahan	Dinas Pertanian Bag. Pangan dan Budi Daya Kab. Gunung Kidul (Ir Raharjo Yuwono MM)	(Focus Group Discussion)	<ul style="list-style-type: none"> Pemetaan lahan pertanian di Kab. Gunung Kidul Hasil : <ol style="list-style-type: none"> 7865 Ha lahan sawah dimana tdd:865 Ha full air, 2000 Ha irigasi, 5000 Ha tadah hujan 42000 Ha lahan kering, meliputi hutan rakyat <u>kayu jati</u>, <u>sengon</u>, <u>akasia</u>, <u>mahoni</u>, <u>sonokeling</u> dan kayu untuk kebutuhan bahan bakar sehari-hari. Dengan lahan kering kegiatan selain pertanian adalah produksi arang rakyat Pemetaan kecamatan dengan kegiatan produksi arang : Kec. Pathuk, Kec.Purwosari, Kec.Panggang, dan Kec.Semin Metode produksi semua kecamatan tersebut masih berupa Drum Kiln dan Eartmound Kiln 	<ul style="list-style-type: none"> Wawancara cara Dokumen digital Rekam audio 	<ul style="list-style-type: none"> Polusi asap yang masih berlebihan mengganggu lingkungan Tanah atau tempat bekas produksi pembuatan arang perlu waktu pemulihan jika dimanfaatkan kembali sebagai lahan tanam Tempat terbuka sebagai tempat produksi tergantung cuaca, jika hujan tidak bisa berproduksi Belum ada perhatian khusus dari dinas dalam kegiatan pembuatan arang rakyat, belum ada organisasi ekonomi khusus untuk menangani komoditas arang tersebut
2	Studi Pendahuluan 	Pengumpulan informasi awal penelitian untuk mendapatkan permasalahan	Kecamatan Panggang Kab. Gunung Kidul (Bpk Surantoko, S.Sos., M.M) Kasi Tata Pemerintahan	(Focus Group Discussion)	<ul style="list-style-type: none"> Pemetaan desa di wilayah Kec Panggang Kab Gunung Kidul yang aktif memproduksi arang rakyat. Hasil : Desa Girikarto dan 	<ul style="list-style-type: none"> Wawancara Dokumen digital Rekam audio 	<ul style="list-style-type: none"> Metode produksi semua pengrajin arang masih cara tradisional berupa Eartmound Kiln Polusi udara berupa asap dan debu masih merupakan inti permasalahan

No	Tahap	Tujuan	Stakeholder	Metode	Objek Penelitian	Instrumen	Permasalahan
					<p>Giriwungu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pemetaan jumlah penduduk di Kec Panggang Kab Gunung Kidul yang memproduksi arang rakyat. Hasil : Jumlah penduduk Kec. Panggang sekitar 4000 orang dengan 900 KK dimana 300 KK memproduksi arang rakyat • 30% KK menggantungkan penghidupan dari kegiatan produksi arang tradisional tersebut karena lahan 70% berupa hutan tradisional dan ladang kering. 		<ul style="list-style-type: none"> • Pihak Puskesmas telah memberikan penyuluhan atas kesehatan pernafasan akibat kegiatan arang tradisional sudah dilakukan, dengan pembagian masker tetapi karena tidak terbiasa dan dianggap ribet tidak dipakai lagi saat produksi • Pihak Puskesmas menginformasikan banyaknya keluhan para veteran pengrajin arang yang mengalami sesak nafas (sayangnya tidak mendata sehingga data angka tidak bisa disebutkan) • Belum terbentuknya badan ekonomi yang khusus menangani produksi arang tersebut sehingga secara teknis permasalahan yang terjadi tidak terevaluasi dan tersolusi dengan baik, cenderung mandiri
3	<p>Studi Pendahuluan</p> 	Pengumpulan informasi awal penelitian	Kelurahan Girikarto Kec Panggang Kab Gunung Kidul (Bpk Tuyadi) Kepala Kelurahan	(Focus Group Discussion)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemetaan Demografi dan Geografis Kelurahan Panggang, hasil : penduduk ada 156 KK, 7500 Ha hampir semua lahan kering tadah hujan, terdiri dari 20% hunian, 50% hutan rakyat dan 30% ladang kering tadah hujan • Pemetaan sumber mata pencaharian utama dan 	<ul style="list-style-type: none"> • Wawancara • Dokumentasi digital • Rekam audio 	<ul style="list-style-type: none"> • Keahlian proses arang tradisional dari turun temurun sehingga permasalahan masih sama dengan lokasi lain kebanyakan daerah Gunung Kidul

No	Tahap	Tujuan	Stakeholder	Metode	Objek Penelitian	Instrumen	Permasalahan
					pendukung kelurahan Girikarto, hasil : 60% ladang kering tadah hujan dan pelaku arang tradisional, selainnya kerja dikota.		
4	Studi Pendahuluan 	Pengumpulan informasi awal penelitian	Padukuhan Dawung Kelurahan Girikarto Kec Panggang Kab Gunung Kidul (Bpk Sukardio) Kepala Padukuhan Dawung	(Focus Group Discussion)	<ul style="list-style-type: none"> • Pemetaan demografi dan aktifitas pertanian Padukuhan Dawung • Pemetaan kegiatan produksi arang Padukuhan Dawung : 60% dari 90KK penduduk dawung melakukan produksi arang sesuai dengan demografi dan • geografis wilayah 	<ul style="list-style-type: none"> • Wawancara • Dokumentasi digital • Rekamanaudio 	<ul style="list-style-type: none"> • Keahlian proses arang tradisional dari turun temurun sehingga permasalahan masih sama dengan lokasi lain kebanyakan daerah Gunung Kidul
5	Studi Pendahuluan 	Pengumpulan informasi awal penelitian	Padukuhan Dawung Kelurahan Girikarto Kec Panggang Kab Gunung Kidul (Bpk Fitri) pelaku produksi	(Focus Group Discussion)	Pelaku produksi langsung	<ul style="list-style-type: none"> • Wawancara • Dokumentasi digital • Rekamanaudio 	<ul style="list-style-type: none"> • Keahlian proses arang tradisional dari turun temurun sehingga permasalahan masih sama dengan lokasi lain kebanyakan daerah Gunung Kidul

Lampiran 2 Perhitungan Uji Homogenitas Kalori

Uji Homogenitas Kalori												
Terd	Faktor Kemutakhiran							Data hasil Percobaan				
	A	B	C	D	E	F	G	Registri kode				
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	Rata-rata
1	1	1	1	1	1	1	1	6.151,257	6.152,737	6.152,950	6.200,212	6.189,297
2	1	1	1	2	2	2	2	6.320,421	6.345,867	6.358,745	6.417,415	6.360,612
3	1	2	2	1	1	2	2	6.320,583	6.295,704	6.152,611	6.280,284	6.262,296
4	1	2	2	2	2	1	1	5.817,246	5.665,228	5.574,604	5.715,861	5.693,257
5	2	1	2	1	2	1	2	5.569,300	5.670,810	5.958,787	5.958,787	5.789,421
6	2	1	2	2	1	2	1	6.044,882	6.734,564	6.583,416	6.453,801	6.454,166
7	2	2	1	1	2	2	1	6.307,700	6.432,984	6.732,219	6.381,559	6.488,616
8	2	2	1	2	1	1	2	6.076,131	6.014,387	6.741,601	6.612,749	6.336,217

No	X	μ	X-μ	(X-μ) ²	No	X	μ	X-μ	(X-μ) ²
1	6.151,257	6063,44	87,817	7.711,825	1	6.152,737	6176,54	(23,798)	566,351
2	6.320,421	6063,44	256,981	66.039,234	2	6.345,867	6176,54	169,332	28.673,284
3	6.320,583	6063,44	257,143	66.122,522	3	6.295,704	6176,54	117,169	14.701,721
4	5.817,246	6063,44	(246,194)	60.611,486	4	5.665,228	6176,54	(511,307)	261.434,976
5	5.569,300	6063,44	(494,140)	244.171,340	5	5.670,810	6176,54	(505,725)	255.757,502
6	6.044,882	6063,44	(18,558)	344,309	6	6.734,564	6176,54	558,029	311.306,228
7	6.307,700	6063,44	244,260	59.662,948	7	6.532,984	6176,54	356,449	127.055,800
8	6.076,131	6063,44	(37,805)	1.422,861	8	6.014,387	6176,54	(162,158)	26.292,011
Σ	48.507,520			512.260,616	Σ	40.412,261			1.025.077,774
			S1 ²	78.184,281				S2 ²	146.482,534
			logS1 ²	4,864				logS2 ²	5,166

No	X	μ	X-μ	(X-μ) ²	No	X	μ	X-μ	(X-μ) ²
1	6.152,950	6281,88	(128,928)	16.622,397	1	6.200,242	6265,09	35,159	1.239,806
2	6.358,745	6281,88	76,867	5.908,555	2	6.417,415	6265,09	152,328	23.203,743
3	6.152,611	6281,88	(129,267)	16.703,925	3	6.280,284	6265,09	15,197	230,541
4	5.574,694	6281,88	(707,184)	500.109,033	4	5.715,861	6265,09	(549,226)	301.519,471
5	5.958,787	6281,88	(323,091)	104.367,714	5	5.958,787	6265,09	(306,300)	93.819,643
6	6.583,416	6281,88	301,538	90.925,211	6	6.453,801	6265,09	188,714	35.612,879
7	6.732,219	6281,88	450,341	202.807,129	7	6.381,559	6265,09	116,472	13.565,669
8	6.741,601	6281,88	459,721	211.345,352	8	6.612,740	6265,09	347,662	120.968,602
Σ	50.255,023			1.148.815,345	Σ	50.120,698			590.187,058
			S3 ²	164.115,478				S4 ²	84.312,443
			logS3 ²	5,215				logS4 ²	4,926

S ²	117.023,923	2,302565
B	141.9116902	
C	141.1987205	
D	0,713	
X ²	1,642	
K ² tabel(0,95;3)	7,820	

Lampiran 3

Perhitungan Uji Homogenitas Kadar Air

Uji Homogenitas Kadar Air												
Faktor Kendali								Data hasil Percobaan				
Trial	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi ke:				Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329	5,22525
2	1	1	1	2	2	2	2	5,374	5,466	5,477	5,477	5,4485
3	1	2	2	1	1	2	2	6,239	6,263	6,385	6,185	6,26825
4	1	2	2	2	2	1	1	6,519	6,157	6,132	6,696	6,526
5	2	1	2	1	2	1	2	6,918	7,011	6,095	6,881	6,7315
6	2	1	2	2	1	2	1	6,335	6,159	6,249	6,19	6,23325
7	2	2	1	1	2	2	1	5,799	6,084	5,465	5,467	5,794
8	2	2	1	2	1	1	2	6,088	6,093	6,42	6,094	6,17375

No	X	μ	X- μ	(X- μ) ²	No	X	μ	X- μ	(X- μ) ²
1	5,153	6,05313	(0,900)	0,810	1	5,194	6,09475	(0,901)	0,811
2	5,374	6,05313	(0,679)	0,459	2	5,466	6,09475	(0,629)	0,395
3	6,239	6,05313	0,186	0,035	3	6,263	6,09475	0,168	0,028
4	6,519	6,05313	0,466	0,217	4	6,457	6,09475	0,362	0,131
5	6,918	6,05313	0,865	0,748	5	7,041	6,09475	0,946	0,895
6	6,335	6,05313	0,282	0,079	6	6,159	6,09475	0,064	0,004
7	5,799	6,05313	(0,254)	0,065	7	6,085	6,09475	(0,010)	0,000
8	6,088	6,05313	0,035	0,001	8	6,093	6,09475	(0,002)	0,000
Σ	48,125			2,416	Σ	48,758		48,758	2,255
		S^2		0,302			S^2		0,324
		$\log S^2$		(0,492)			$\log S^2$		(0,459)
No	X	μ	X- μ	(X- μ) ²	No	X	μ	X- μ	(X- μ) ²
1	5,225	5,9685	(0,244)	0,059	1	5,329	5,04038	(0,281)	0,079
2	5,177	5,9685	(0,467)	0,218	2	5,177	5,04038	(0,563)	0,317
3	6,385	5,9685	0,416	0,173	3	6,185	5,04038	0,145	0,021
4	6,132	5,9685	0,164	0,027	4	6,696	5,04038	0,658	0,430
5	6,095	5,9685	0,126	0,016	5	6,884	5,04038	0,844	0,712
6	6,249	5,9685	0,280	0,078	6	6,19	5,04038	0,150	0,022
7	5,465	5,9685	(0,504)	0,254	7	5,467	5,04038	(0,573)	0,329
8	6,42	5,9685	0,451	0,203	8	6,094	5,04038	0,054	0,003
Σ	47,748			1,735	Σ	48,523			2,340
		S^2		0,248			S^2		0,334
		$\log S^2$		(0,506)			$\log S^2$		(0,476)
		S^2		0,313					
		B		14,13441086					
		C		(14,335)					
		D		0,100					
		χ^2		0,201					
		$\chi^2_{tabel}(0,05;3)$		7,810					
				2,302160983					

Lampiran 4

Perhitungan Distribusi Normal Kalor

Trial	Faktor Kesalahan							Data hasil Pengukuran				
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi ke				Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1	6.151,257	6.152,737	6.152,950	6.200,242	6.180,297
2	1	1	1	2	2	2	2	6.320,421	6.315,867	6.358,715	6.417,415	6.360,612
3	1	2	2	1	1	2	2	6.310,583	6.295,704	6.154,611	6.280,284	6.262,296
4	1	2	2	2	2	1	1	5.817,216	5.665,228	5.571,694	5.715,861	5.693,257
5	2	1	2	1	2	1	2	5.559,300	5.570,870	5.958,787	5.958,787	5.789,421
6	2	1	2	2	1	2	1	6.044,882	6.734,564	6.383,416	6.453,801	6.454,166
7	2	2	1	1	2	2	1	6.407,700	6.512,984	6.712,219	6.381,559	6.488,616
8	2	2	1	2	1	1	2	5.976,131	6.014,387	5.741,601	6.612,749	6.336,217

No	X	μ	$X-\mu$	$(X-\mu)^2$	$(X-\mu)^2/n$
1	6.151,257	6216,51	(65,253)	4.258,015	133,062974
2	6.152,717	6195,573	(42,830)	1.834,929	57,3413405
3	6.152,950	6195,573	(42,623)	1.816,720	55,772501
4	6.300,242	6195,573	104,660	10.955,600	342,362406
5	6.320,421	6195,573	124,848	15.587,023	487,094472
6	6.345,867	6195,573	150,294	22.588,286	705,883951
7	6.358,745	6195,573	163,172	26.625,102	832,034424
8	6.417,415	6195,573	221,842	49.213,873	1537,93353
9	6.320,583	6195,573	125,010	15.627,500	483,350076
10	6.295,704	6195,573	100,131	10.026,217	313,319286
11	6.152,611	6195,573	(42,962)	1.845,733	57,6791701
12	6.280,284	6195,573	84,711	7.175,954	224,243546
13	5.817,245	6195,573	(378,327)	143.131,319	4472,87372
14	5.665,228	6195,573	(530,345)	281.265,819	8789,55684
15	5.574,694	6195,573	(620,879)	385.490,733	12016,5851
16	5.715,861	6195,573	(479,712)	230.123,603	7191,36259
17	5.569,300	6195,573	(626,273)	392.217,871	12256,3085
18	5.670,810	6195,573	(524,763)	275.376,206	8615,50644
19	5.958,787	6195,573	(236,785)	56.067,610	1752,11281
20	6.453,801	6195,573	258,228	66.681,700	2083,80312
21	6.307,700	6195,573	112,127	12.572,464	392,883504
22	6.532,984	6195,573	337,411	113.846,183	3557,63322
23	6.732,219	6195,573	536,645	287.988,929	8999,65404
24	6.381,559	6195,573	185,885	34.590,792	1080,95226
25	6.307,700	6195,573	112,127	12.572,464	392,883501
26	6.532,984	6195,573	337,411	113.846,183	3557,63322
27	6.732,219	6195,573	536,645	287.988,929	8999,65404
28	6.381,559	6195,573	185,885	34.590,792	1080,95226
29	5.976,131	6195,573	(219,442)	48.154,791	1504,83723
30	6.014,387	6195,573	(181,185)	32.828,367	1025,83616
31	6.741,601	6195,573	545,028	298.146,577	9317,09052
32	6.612,749	6195,573	417,175	174.035,815	5438,61922
Min=	5.559,300			$\sum (\sigma^2)$	107780,503
Max=	6.741,601			σ	323,303975
Sum=	198.928,335				
μ =	6216,510459				
$k = 1 + 3,32 \log 32 = 6$					
$P =$	1.172,301				
$P = P/k =$	195,3835				

i	Batas Atas	Batas bawah	Batas atas	Z _i	f _i	O _i	o _i	Gedungen		O _i - o _i	(O _i - o _i) ²	(O _i - o _i) ² /f _i
								O _i	o _i			
1			1,4283413									
2	5547-5732		5732	-1,3848196	0,25831	5	1,54157	8	0,06643	1,58152	2,5073951	0,91477825
3	5752-5937		5937	-0,7304579	0,13633	3	1,42656	7	7,43004	-0,43304	0,19275512	0,02501142
4	5957-6152		6152	-0,1064062	0,23247	7	7,43004	7	7,90825	0,50816	0,25473456	0,10429159
5	6152-6347		6347	0,2948558	0,24713	7	7,90825					
6	6347-6542		6542	0,4914733	0,18247	5	5,47019					
7	6542-6742		6742	0,8001823	0,19609	5	5,96208	10	8,77312	1,23388	1,50134158	0,17107316
\sum						32	30,1663			\sum		0,21655422
μ	6215,510460									$K^2 \text{hitung} =$	0,21655472	
σ	323,3039754									$K^2 \text{tabel}(0,95;1)$	0,24	

Lampiran 5
Perhitungan Distribusi Normal Kadar air

Trial	Faktor Kontrol							Data hasil Percobaan				
	A	B	C	D	E	F	G	Replikasi ke				Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	
1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329	5,22525
2	1	1	1	2	2	2	2	5,374	5,466	5,477	5,477	5,445
3	1	2	2	1	1	2	2	6,239	6,283	6,385	6,186	6,28825
4	1	2	2	2	2	1	1	6,519	6,457	6,432	6,606	6,528
5	2	1	2	1	2	1	2	6,918	7,041	6,095	6,884	6,7345
6	2	1	2	2	1	2	1	6,335	6,159	6,249	6,19	6,23325
7	2	2	1	1	2	2	1	5,799	6,085	5,465	5,467	5,704
8	2	2	1	2	1	1	2	6,088	6,095	6,42	6,094	6,17375

No	X	μ	$X-\mu$	$(X-\mu)^2$	$(X-\mu)^2/n$
1	5,153	6,039	(0,886)	0,785	0,0245415
2	5,194	6,001	(0,807)	0,652	0,0203641
3	5,225	6,001	(0,776)	0,603	0,0188301
4	5,329	6,001	(0,672)	0,452	0,0141225
5	5,374	6,001	(0,627)	0,393	0,0122951
6	5,466	6,001	(0,535)	0,286	0,0089529
7	5,477	6,001	(0,524)	0,275	0,0085887
8	5,477	6,001	(0,524)	0,275	0,0085887
9	6,239	6,001	0,238	0,057	0,0017664
10	6,263	6,001	0,262	0,069	0,002141
11	6,385	6,001	0,384	0,147	0,004602
12	6,186	6,001	0,185	0,034	0,0010666
13	6,519	6,001	0,518	0,268	0,0083177
14	6,457	6,001	0,456	0,208	0,0064909
15	6,432	6,001	0,431	0,186	0,0057987
16	6,696	6,001	0,695	0,483	0,0150837
17	6,919	6,001	0,917	0,840	0,0260635
18	7,011	6,001	1,040	1,081	0,0337838
19	6,095	6,001	0,094	0,009	0,0002747
20	6,881	6,001	0,883	0,779	0,0243515
21	6,335	6,001	0,334	0,111	0,0034809
22	6,159	6,001	0,158	0,025	0,0007777
23	6,219	6,001	0,248	0,061	0,0019181
24	6,190	6,001	0,189	0,036	0,0011133
25	5,799	6,001	(0,202)	0,041	0,0012783
26	6,085	6,001	0,084	0,007	0,0002192
27	5,465	6,001	(0,536)	0,288	0,0089864
28	5,467	6,001	(0,534)	0,285	0,0089195
29	6,088	6,001	0,087	0,008	0,0002352
30	6,093	6,001	0,092	0,008	0,0002631
31	6,420	6,001	0,419	0,175	0,0054797
32	6,094	6,001	0,093	0,009	0,0002688
Min=	5,153			$\sum (\sigma^2)$	0,2792231
Max=	7,041			σ	0,5284157
Sum=	193,254				
μ =	6,0391875				
$k = 1+3,32 \log 32 = 6$					
R =	1,888				
P = R/k =	0,31466667				

i	Batas Kelas	Batas bawah	Batas atas	Zr	Ln	Oi	ei	Gebungan		Ci-ei	(Ci-ei) ²	(Ci-ei) ² /ei
								Oi	ei			
0		5,15		1,58274								
1	5,150-5,465		5,465	-1,08652	0,10746	5	3,43972	10	3,64544	1,15455	1,33000	0,1507
2	5,465-5,780		5,78	-0,4909	0,16896	5	5,90972					
3	5,780-6,095		6,095	0,105622	0,20787	6	6,65184	6	6,65184	0,65184	0,424895	0,063876
4	6,095-6,410		6,41	0,791744	0,18619	8	6,02208	8	6,02208	1,07792	0,512163	0,640637
5	6,410-6,725		6,725	1,297866	0,13318	5	4,26176	8	6,00576	1,39424	1,543900	0,294274
6	6,725-7,045		7,045	1,908449	0,07925	3	2,344					
	\sum					32	26,12512				\sum	1,158438
	μ	6,0391875								χ^2 hitung =		1,158438
	σ	0,528415651								χ^2 tabel(0,95;1)		3,84

Lampiran 6 Perhitungan Uji ANOVA Kalor

No	Tabel Kuadrat Data							
	X_i	X_i^2	X_i	X_i^2	X_i	X_i^2	X_i	X_i^2
1	6.151,257	37.837,962,630	6.153,737	37.858,172,591	6.152,950	37.858,793,703	6.100,212	37.212,629,259
2	6.329,121	39.997,731,617	6.215,867	38.636,027,582	6.555,715	42.976,627,922	6.117,115	37.419,222,222
3	6.320,583	39.949,789,460	6.295,704	39.634,090,558	6.152,611	37.854,627,317	6.280,284	39.441,952,171
4	6.817,218	46.474,311,025	6.665,228	44.385,828,282	6.571,691	43.187,213,184	6.715,861	45.102,066,971
5	6.569,400	43.156,102,400	6.670,810	44.508,096,563	6.958,787	48.423,142,511	6.958,787	48.423,142,511
6	6.011,882	36.142,598,391	6.731,561	45.305,352,270	6.583,118	43.434,306,228	6.153,801	37.868,547,348
7	6.307,700	39.788,079,200	6.542,984	42.830,091,504	6.752,219	45.582,727,561	6.481,559	42.010,226,240
8	6.976,181	48.667,141,721	6.614,387	43.750,050,289	6.741,601	45.438,180,001	6.612,749	43.728,549,137
Σ	51.902,207	321.826,225,885	51.911,291	322.222,056,222	51.925,121	322.617,129,025	50.718,898	316.621,201,672

Faktor	Derajat Bebas	SS	MS	F Hitung	F Tabel	P
A	1	108.460,825	108.460,825	3,657407914	4,20	0,0223328
B	1	10.112,752	10.112,752	0,032310807	4,20	0,857142857
C	1	2.948,314	2.948,314	0,009474012	4,20	0,931418182
D	1	404.112,752	404.112,752	13,23070807	4,20	0,001140411
E	1	404.112,752	404.112,752	13,23070807	4,20	0,001140411
F	1	1.212.898,423	1.212.898,423	39,23471203	4,20	0,000000000
G	1	2.948,314	2.948,314	0,009474012	4,20	0,931418182
Total	7	1.020.190,216	145.741,459			

Faktor	Derajat Bebas	SS	MS	F Hitung	F Tabel	P
A	1	108.460,825	108.460,825	3,657407914	4,20	0,0223328
B	1	10.112,752	10.112,752	0,032310807	4,20	0,857142857
C	1	2.948,314	2.948,314	0,009474012	4,20	0,931418182
D	1	404.112,752	404.112,752	13,23070807	4,20	0,001140411
E	1	404.112,752	404.112,752	13,23070807	4,20	0,001140411
F	1	1.212.898,423	1.212.898,423	39,23471203	4,20	0,000000000
G	1	2.948,314	2.948,314	0,009474012	4,20	0,931418182
Total	7	1.020.190,216	145.741,459			

Lampiran 8

Perhitungan MRSN

													k = 0,2597						
													wt = 0,75						
Tral	A	B	C	D	E	F	G	I	2	3	4	∑1/n²	Ij	Cj	wt*Cj				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	6,151	6,153	6,153	6,300	0,104	0,01	0,83		6488	6336	152
2	2	1	1	1	1	1	1	2	6,118	5,963	6,195	6,405	0,105	0,01	0,84		13500	6000	23104
3	3	1	1	1	1	1	2	1	6,521	6,754	6,503	6,537	0,092	0,01	0,74		7500	k =	0,259995
4	4	1	1	1	1	1	2	2	6,488	6,565	6,545	6,641	0,093	0,01	0,74				
5	5	1	1	1	1	2	1	1	6,032	5,907	5,901	6,007	0,113	0,01	0,89				
6	6	1	1	1	1	2	1	2	5,998	5,717	5,944	6,111	0,113	0,01	0,90				
7	7	1	1	1	1	2	2	1	6,402	6,509	6,251	6,243	0,099	0,01	0,79				
8	8	1	1	1	1	2	2	2	6,368	6,319	6,293	6,348	0,100	0,01	0,79				
9	17	1	1	2	1	1	1	1	5,900	5,983	5,724	5,974	0,115	0,01	0,92				
10	18	1	1	2	1	1	1	2	5,867	5,793	5,766	6,079	0,116	0,01	0,92				
11	19	1	1	2	1	1	2	1	6,270	6,584	6,074	6,211	0,102	0,01	0,81				
12	20	1	1	2	1	1	2	2	6,237	6,395	6,116	6,315	0,102	0,01	0,81				
13	21	1	1	2	1	2	1	1	5,781	5,737	5,472	5,681	0,125	0,01	0,99				
14	22	1	1	2	1	2	1	2	5,747	5,548	5,515	5,786	0,126	0,01	1,00				
15	25	1	1	2	1	2	2	1	6,151	6,339	5,822	5,917	0,109	0,01	0,87				
16	24	1	1	2	1	2	2	2	6,117	6,149	5,864	6,022	0,110	0,01	0,87				
17	33	1	2	1	1	1	1	1	6,235	6,054	6,190	6,265	0,105	0,01	0,83				
18	34	1	2	1	1	1	1	2	6,202	5,864	6,232	6,370	0,105	0,01	0,84				
19	35	1	2	1	1	1	2	1	6,605	6,655	6,539	6,502	0,098	0,01	0,74				
20	36	1	2	1	1	1	2	2	6,571	6,466	6,582	6,606	0,098	0,01	0,74				
21	37	1	2	1	1	2	1	1	6,116	5,808	5,938	5,972	0,113	0,01	0,90				
22	38	1	2	1	1	2	1	2	6,082	5,619	5,980	6,076	0,114	0,01	0,90				
23	39	1	2	1	1	2	2	1	6,486	6,410	6,288	6,208	0,099	0,01	0,79				
24	40	1	2	1	1	2	2	2	6,452	6,220	6,330	6,313	0,100	0,01	0,79				
25	49	1	2	2	1	1	1	1	5,984	5,884	5,761	5,939	0,115	0,01	0,92				
26	50	1	2	2	1	1	1	2	5,951	5,694	5,803	6,044	0,116	0,01	0,92				
27	51	1	2	2	1	1	2	1	6,354	6,485	6,110	6,176	0,102	0,01	0,81				
28	52	1	2	2	1	1	2	2	6,321	6,296	6,153	6,280	0,102	0,01	0,81				
29	53	1	2	2	1	2	1	1	5,865	5,638	5,509	5,646	0,125	0,01	0,99				
30	54	1	2	2	1	2	1	2	5,831	5,449	5,551	5,751	0,126	0,01	1,00				
31	55	1	2	2	1	2	2	1	6,235	6,240	5,859	5,882	0,109	0,01	0,87				
32	56	1	2	2	1	2	2	2	6,201	6,050	5,901	5,987	0,110	0,01	0,87				
33	65	2	1	1	1	1	1	1	5,973	6,276	6,597	6,474	0,100	0,01	0,80				
34	66	2	1	1	1	1	1	2	5,940	6,086	6,639	6,578	0,101	0,01	0,80				
35	67	2	1	1	1	2	1	1	6,343	6,878	6,947	6,710	0,089	0,01	0,71				
36	68	2	1	1	1	1	2	2	6,310	6,688	6,989	6,814	0,089	0,01	0,71				
37	69	2	1	1	1	2	1	1	5,854	6,030	6,346	6,180	0,108	0,01	0,86				
38	70	2	1	1	1	2	1	2	5,820	5,841	6,388	6,285	0,109	0,01	0,86				
39	71	2	1	1	1	2	2	1	6,224	6,632	6,695	6,417	0,095	0,01	0,76				
40	72	2	1	1	1	2	2	2	6,190	6,442	6,738	6,521	0,096	0,01	0,76				
41	81	2	1	2	1	1	1	1	5,723	6,106	6,168	6,148	0,110	0,01	0,88				
42	82	2	1	2	1	1	1	2	5,689	5,916	6,210	6,252	0,111	0,01	0,88				
43	85	2	1	2	1	1	2	1	6,092	6,708	6,518	6,384	0,097	0,01	0,77				
44	84	2	1	2	1	1	2	2	6,059	6,518	6,560	6,489	0,098	0,01	0,78				
45	85	2	1	2	1	2	1	1	5,603	5,860	5,917	5,854	0,119	0,01	0,94				
46	86	2	1	2	1	2	1	2	5,569	5,671	5,959	5,959	0,120	0,01	0,95				
47	87	2	1	2	1	2	2	1	5,973	6,462	6,266	6,091	0,104	0,01	0,83				
48	88	2	1	2	1	2	2	2	5,939	6,272	6,309	6,195	0,105	0,01	0,83				
49	87	2	2	1	1	1	1	1	6,057	6,177	6,634	6,439	0,100	0,01	0,80				
50	98	2	2	1	1	1	1	2	6,024	5,987	6,676	6,543	0,101	0,01	0,80				
51	89	2	2	1	1	1	2	1	6,427	6,779	6,984	6,675	0,089	0,01	0,71				
52	100	2	2	1	1	1	2	2	6,394	6,589	7,026	6,779	0,090	0,01	0,71				
53	101	2	2	1	1	2	1	1	5,938	5,911	6,382	6,145	0,108	0,01	0,86				
54	102	2	2	1	1	2	1	2	5,904	5,742	6,425	6,250	0,109	0,01	0,87				
55	103	2	2	1	1	2	2	1	6,308	6,533	6,732	6,382	0,095	0,01	0,76				
56	104	2	2	1	1	2	2	2	6,274	6,343	6,774	6,486	0,096	0,01	0,76				
57	113	2	2	2	1	1	1	1	5,806	6,007	6,205	6,113	0,110	0,01	0,88				
58	114	2	2	2	1	1	1	2	5,773	5,818	6,247	6,217	0,111	0,01	0,88				
59	113	2	2	2	1	1	2	1	6,176	6,609	6,555	6,349	0,097	0,01	0,77				
60	118	2	2	2	1	1	2	2	6,143	6,419	6,597	6,454	0,098	0,01	0,78				
61	117	2	2	2	1	2	1	1	5,687	5,762	5,953	5,819	0,119	0,01	0,94				
62	118	2	2	2	1	2	1	2	5,653	5,572	5,996	5,924	0,120	0,01	0,95				
63	118	2	2	2	1	2	2	1	6,057	6,363	6,303	6,056	0,104	0,01	0,83				
64	128	2	2	2	1	2	2	2	6,023	6,173	6,345	6,160	0,105	0,01	0,83				
													0	0	0				
													0,0082	0,00	0				

13500	6000	1,654								6,734	5,448	6,743 (%)	menjadi 5,448 (%)				
7500	k =	3628										1,288					
											13500	6000	1,6538				
Kadar Air												7500	k =	3628,02	wt-	0,583	
Tmol	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4	$\sum l_j y_j^2$	Uj	Cj	wt * Cj		
1	1	1	1	1	1	1	1	5.153	5.194	5.225	5.329	0,000	0,00	0,36	0,21127		
2	1	1	1	1	1	1	2	5.356	5.436	4.032	6.962	0,000	0,00	0,37	0,21743		
3	1	1	1	1	1	2	1	4.920	4.991	6.521	3.516	0,000	0,00	0,46	0,26794		
4	1	1	1	1	1	2	2	5.124	5.233	5.328	5.148	0,000	0,00	0,30	0,21272		
5	1	1	1	1	2	1	1	5.352	5.529	6.467	6.903	0,000	0,00	0,28	0,16219		
6	1	1	1	1	2	1	2	5.555	5.771	5.274	8.536	0,000	0,00	0,28	0,16160		
7	1	1	1	1	2	2	1	5.119	5.326	7.763	5.090	0,000	0,00	0,32	0,18539		
8	1	1	1	1	2	2	2	5.322	5.568	6.570	6.722	0,000	0,00	0,28	0,16268		
17	1	1	2	2	1	1	1	6.052	5.965	7.313	4.834	0,000	0,00	0,29	0,16852		
18	1	1	2	1	1	1	2	6.256	6.207	6.120	6.466	0,000	0,00	0,25	0,14722		
19	1	1	2	1	1	2	1	5.820	5.762	8.609	3.020	0,000	0,00	0,45	0,26348		
20	1	1	2	1	1	2	2	6.023	6.004	7.416	4.653	0,000	0,00	0,30	0,17253		
21	1	1	2	1	2	1	1	6.251	6.300	8.555	6.408	0,000	0,00	0,22	0,12802		
22	1	1	2	1	2	1	2	6.454	6.542	7.362	8.040	0,000	0,00	0,20	0,11718		
23	1	1	2	1	2	2	1	6.018	6.097	9.851	4.594	0,000	0,00	0,28	0,16173		
24	1	1	2	1	2	2	2	6.222	6.339	8.658	6.227	0,000	0,00	0,22	0,12953		
33	1	2	1	1	1	1	1	5.369	5.454	4.195	6.863	0,000	0,00	0,36	0,21100		
34	1	2	1	1	1	1	2	5.573	5.696	3.002	8.495	0,000	0,00	0,48	0,27083		
35	1	2	1	1	1	2	1	5.137	5.251	5.490	5.049	0,000	0,00	0,36	0,21129		
36	1	2	1	1	1	2	2	5.340	5.493	4.297	6.682	0,000	0,00	0,36	0,20869		
37	1	2	1	1	2	1	1	5.568	5.789	5.437	8.437	0,000	0,00	0,27	0,15853		
38	1	2	1	2	2	1	2	5.771	6.031	4.244	10.069	0,000	0,00	0,30	0,17718		
39	1	2	1	1	2	2	1	5.335	5.586	6.732	6.623	0,000	0,00	0,28	0,16151		
40	1	2	1	1	2	2	2	5.539	5.828	5.539	8.256	0,000	0,00	0,27	0,15757		
49	1	2	2	1	1	1	1	6.269	6.224	6.283	6.367	0,000	0,00	0,23	0,14597		
50	1	2	2	1	1	1	2	6.472	6.466	5.090	8.000	0,000	0,00	0,25	0,14706		
51	1	2	2	1	1	2	1	6.036	6.021	7.578	4.554	0,000	0,00	0,30	0,17395		
52	1	2	2	1	1	2	2	6.239	6.263	6.385	6.186	0,000	0,00	0,25	0,14680		
53	1	2	2	1	2	1	1	6.467	6.559	7.525	7.941	0,000	0,00	0,20	0,11629		
54	1	2	2	1	2	1	2	6.671	6.801	6.332	9.574	0,000	0,00	0,20	0,11524		
55	1	2	2	1	2	2	1	6.255	6.356	8.820	6.128	0,000	0,00	0,22	0,12968		
56	1	2	2	1	2	2	2	6.438	6.598	7.627	7.760	0,000	0,00	0,20	0,11661		
65	2	1	1	1	1	1	1	5.617	5.694	3.958	4.173	0,000	0,00	0,45	0,26494		
66	2	1	1	1	1	1	2	5.820	5.936	2.765	5.806	0,000	0,00	0,54	0,31478		
67	2	1	1	2	1	2	1	5.384	5.491	5.254	2.360	0,000	0,00	0,70	0,40868		
68	2	1	1	1	1	2	2	5.587	5.733	4.061	3.992	0,000	0,00	0,46	0,26791		
69	2	1	1	1	2	1	1	5.816	6.029	5.200	5.747	0,000	0,00	0,31	0,17923		
70	2	1	1	1	2	1	2	6.019	6.271	4.007	7.380	0,000	0,00	0,33	0,19269		
71	2	1	1	1	2	2	1	5.583	5.826	6.496	3.934	0,000	0,00	0,37	0,21805		
72	2	1	1	1	2	2	2	5.786	6.068	5.303	5.566	0,000	0,00	0,31	0,18000		
81	2	1	2	1	1	1	1	6.516	6.464	6.046	3.678	0,000	0,00	0,37	0,21446		
82	2	1	2	1	1	1	2	6.719	6.706	4.853	5.310	0,000	0,00	0,30	0,17630		
83	2	1	2	1	1	2	1	6.283	6.261	7.342	1.864	0,000	0,00	0,88	0,51488		
84	2	1	2	1	1	2	2	6.487	6.503	6.149	3.497	0,000	0,00	0,38	0,22438		
85	2	1	2	1	2	1	1	6.715	6.799	7.288	5.252	0,000	0,00	0,24	0,14256		
86	2	1	2	1	2	1	2	6.918	7.041	6.095	6.884	0,000	0,00	0,22	0,12841		
87	2	1	2	1	2	2	1	6.482	6.596	8.584	3.438	0,000	0,00	0,36	0,20895		
88	2	1	2	2	2	2	2	6.685	6.838	7.391	5.071	0,000	0,00	0,25	0,14553		
97	2	2	1	1	1	1	1	5.833	5.953	2.928	5.707	0,000	0,00	0,51	0,29549		
98	2	2	1	1	1	1	2	6.036	6.195	1.735	7.339	0,000	0,00	1,00	0,58300		
99	2	2	1	1	1	2	1	5.600	5.750	4.223	3.893	0,000	0,00	0,46	0,26549		
108	2	2	1	1	1	2	2	5.804	5.992	3.030	5.526	0,000	0,00	0,49	0,28716		
109	2	2	1	1	2	1	1	6.032	6.288	4.170	7.281	0,000	0,00	0,32	0,18618		
102	2	2	1	1	2	1	2	6.235	6.530	2.977	8.913	0,000	0,00	0,43	0,25172		
103	2	2	1	1	2	2	1	5.799	6.085	5.465	5.467	0,000	0,00	0,31	0,17828		
104	2	2	1	1	2	2	2	6.002	6.327	4.272	7.100	0,000	0,00	0,31	0,18360		
113	2	2	2	1	1	1	1	6.732	6.724	5.016	5.211	0,000	0,00	0,30	0,17407		
114	2	2	2	1	1	2	2	6.936	6.966	3.823	6.844	0,000	0,00	0,32	0,18910		
115	2	2	2	1	1	2	1	6.500	6.521	6.311	3.398	0,000	0,00	0,39	0,22909		
116	2	2	2	1	1	2	2	6.703	6.763	5.118	5.030	0,000	0,00	0,30	0,17560		
117	2	2	2	1	2	1	1	6.931	7.059	6.258	6.785	0,000	0,00	0,22	0,12706		
118	2	2	2	1	2	1	2	7.134	7.301	5.065	8.418	0,000	0,00	0,23	0,13191		
119	2	2	2	1	2	2	1	6.698	6.856	7.553	4.972	0,000	0,00	0,25	0,14638		
120	2	2	2	1	2	2	2	6.902	7.098	6.360	6.604	0,000	0,00	0,22	0,12756		
Max														0,00			

TABEL MRSN											
Trial	Faktor Kendali							w1*C1j	w2*C2j	TNQJ	MRSN
	A	B	C	D	E	F	G				
1	1	1	1	1	1	1	1	0,622804	0,21127	0,834075	0,787951
2	2	1	1	1	1	1	2	0,62773	0,217429	0,845159	0,730614
3	3	1	1	1	1	1	2	0,551477	0,267941	0,819418	0,864948
4	4	1	1	1	1	1	2	0,554434	0,212724	0,767158	1,151153
5	5	1	1	1	1	2	1	0,671227	0,162194	0,83342	0,791358
6	6	1	1	1	1	2	1	0,67658	0,161598	0,838179	0,766635
7	7	1	1	1	1	2	2	0,591813	0,185391	0,777203	1,094653
8	8	1	1	1	1	2	2	0,594904	0,162679	0,757583	1,205696
9	17	1	1	2	1	1	1	0,686887	0,168519	0,855406	0,678277
10	18	1	1	2	1	1	1	0,691606	0,147216	0,838822	0,763303
11	19	1	1	2	1	1	2	0,605403	0,26348	0,868882	0,61039
12	20	1	1	2	1	1	2	0,608036	0,172535	0,780571	1,075879
13	21	1	1	2	1	2	1	0,743425	0,128015	0,87144	0,597626
14	22	1	1	2	1	2	1	0,748481	0,117181	0,865662	0,626516
15	23	1	1	2	1	2	2	0,652195	0,161733	0,813928	0,894142
16	24	1	1	2	1	2	2	0,654856	0,129527	0,784386	1,054703
17	33	1	2	1	1	1	1	0,623592	0,211001	0,834593	0,785252
18	34	1	2	1	1	1	2	0,62892	0,270626	0,899747	0,458798
19	35	1	2	1	1	1	2	0,551771	0,211288	0,763058	1,174423
20	36	1	2	1	1	1	2	0,554985	0,208688	0,763674	1,170922
21	37	1	2	1	1	2	1	0,672452	0,158535	0,830987	0,80400
22	38	1	2	1	1	2	1	0,678286	0,177176	0,855462	0,677991
23	39	1	2	1	1	2	2	0,592394	0,161508	0,753903	1,226848
24	40	1	2	1	1	2	2	0,595788	0,157567	0,753354	1,230006
25	49	1	2	2	1	1	1	0,687417	0,145969	0,833386	0,791538
26	50	1	2	2	1	1	1	0,692582	0,147064	0,839646	0,75904
27	51	1	2	2	1	1	2	0,605462	0,173947	0,779409	1,082345
28	52	1	2	2	1	1	2	0,608376	0,146803	0,755178	1,219505
29	53	1	2	2	1	2	1	0,744408	0,116285	0,860693	0,651515
30	54	1	2	2	1	2	1	0,75	0,115242	0,865242	0,628623
31	55	1	2	2	1	2	2	0,652548	0,129684	0,782232	1,066645
32	56	1	2	2	1	2	2	0,655541	0,116006	0,772147	1,122988
33	65	2	1	1	1	1	1	0,597769	0,264942	0,862712	0,641344
34	66	2	1	1	1	1	2	0,603037	0,314776	0,917812	0,37246
35	67	2	1	1	1	1	2	0,530233	0,40868	0,938913	0,273745
36	68	2	1	1	1	1	2	0,533557	0,267912	0,80147	0,961129
37	69	2	1	1	1	2	1	0,642152	0,179232	0,821384	0,854537
38	70	2	1	1	1	2	1	0,647901	0,192694	0,840595	0,754131
39	71	2	1	1	1	2	2	0,567335	0,216047	0,783383	1,06026
40	72	2	1	1	1	2	2	0,570855	0,180003	0,750858	1,244419
41	81	2	1	2	1	1	1	0,656485	0,214462	0,870947	0,600082
42	82	2	1	2	1	1	2	0,66172	0,176303	0,838023	0,76744
43	83	2	1	2	1	1	2	0,579818	0,514885	1,094702	-0,39296
44	84	2	1	2	1	1	2	0,582965	0,224376	0,807341	0,92943
45	85	2	1	2	1	2	1	0,70784	0,142556	0,850395	0,703792
46	86	2	1	2	1	2	1	0,713507	0,128411	0,841918	0,747302
47	87	2	1	2	1	2	2	0,622505	0,208951	0,831456	0,801608
48	88	2	1	2	1	2	2	0,625778	0,145534	0,771312	1,1277
49	97	2	2	1	1	1	1	0,59809	0,295493	0,893582	0,488654
50	98	2	2	1	1	1	2	0,60371	0,583	1,18671	-0,74345
51	99	2	2	1	1	1	2	0,530185	0,265492	0,795677	0,992635
52	100	2	2	1	1	1	2	0,533735	0,287158	0,820892	0,857138
53	101	2	2	1	1	2	1	0,642859	0,186182	0,829041	0,814241
54	102	2	2	1	1	2	1	0,649029	0,251724	0,900753	0,453942
55	103	2	2	1	1	2	2	0,567542	0,178282	0,745824	1,273638
56	104	2	2	1	1	2	2	0,571326	0,183598	0,754924	1,220967
57	113	2	2	2	1	1	1	0,656523	0,174073	0,830596	0,8061
58	114	2	2	2	1	1	2	0,662145	0,189103	0,851249	0,699436
59	115	2	2	2	1	1	2	0,579521	0,229089	0,80861	0,92261
60	116	2	2	2	1	1	2	0,582911	0,175604	0,758515	1,200361
61	117	2	2	2	1	2	1	0,708282	0,12706	0,835342	0,781359
62	118	2	2	2	1	2	1	0,714413	0,131906	0,84632	0,724656
63	119	2	2	2	1	2	2	0,62247	0,146384	0,768854	1,14158
64	120	2	2	2	1	2	2	0,626029	0,127562	0,753591	1,228641
										Max=	1,273638

Lampiran 9

Foto Tungku Produksi Arang



Model Tungku



Polusi asap diatas



Menyusun tungku



Bentuk tungku eartmound kiln



Polusi asap dan debu



Polusi asap dan debu

Lampiran 10



UNIVERSITAS GADJAH MADA
PUSAT STUDI PANGAN DAN GIZI

LAPORAN HASIL UJI

(Analysys Certificate)
 No.PSPG/241/XI/2017

Nomor Pengujian : PS/473/X/2017
(Analysis Report Number)

Nama Pelanggan : **Mardiyanto**
(Name of client)

Alamat Pelanggan :
(Address of client)

No. Telepon Pelanggan :
(Phone No. of client)

Contoh Uji : **Padatan**
(Type of sample)

Tanggal Penerimaan Contoh Uji : 30 Oktober 2017

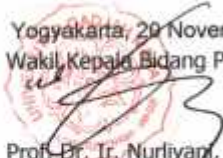
Tanggal Pengujian : 30 Oktober 2017
 September 2017
(Date of analysis)

Metode Uji :
(Analysis Method)

Hasil Uji :
(Analysis Result)

Hasi Analisis terlampir

Yogyakarta, 20 November 2017
 Wakil Kepala Bidang Program PSPG – UGM


 Prof. Dr. Ir. Nurliyani, MS
 NIP. 196008171986032003



UNIVERSITAS GADJAH MADA

PUSAT STUDI PANGAN DAN GIZI

No	Kode sampel A. Arang kayu	Hasil Analisis	
		Kadar air (%)	Kalor (kalori/gr)
1	T1	5,153	6.151,257
		5,194	6.152,737
		5,225	6.152,950
		5,329	6.300,242
2	T4	6,239	6.320,583
		6,263	6.295,704
		6,385	6.152,611
		6,186	6.280,284
3	T5	6,918	5.569,300
		7,041	5.670,810
		6,095	5.958,787
		6,884	5.958,787
4	T8	5,799	6.307,700
		6,085	6.532,984
		5,465	6.732,219
		5,467	6.381,559

No	Kode sampel B. Arang tempurung	Hasil Analisis	
		Kadar air (%)	Kalor (kalori/gr)
1	T2	5,374	6.320,421
		5,466	6.345,867
		5,477	6.358,745
		5,477	6.417,415
2	T3	6,519	5.817,246
		6,457	5.665,228
		6,432	5.574,694
		6,696	5.715,861
3	T6	6,335	6.044,882
		6,159	6.734,564
		6,249	6.583,416
		6,190	6.453,801
4	T7	6,088	5.976,131
		6,093	6.014,387
		6,420	6.741,601
		6,094	6.612,749

Lampiran 12

Tabel 4.24 Hasil Prediksi Kalor (kalori/gr)

No	Trial	Faktor Kendali							Replikasi ke			
		A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	6.151	6.153	6.153	6.300
2	2	1	1	1	1	1	1	2	6.118	5.963	6.195	6.405
3	3	1	1	1	1	1	2	1	6.521	6.754	6.503	6.537
4	4	1	1	1	1	1	2	2	6.488	6.565	6.545	6.641
5	5	1	1	1	1	2	1	1	6.032	5.907	5.901	6.007
6	6	1	1	1	1	2	1	2	5.998	5.717	5.944	6.111
7	7	1	1	1	1	2	2	1	6.402	6.509	6.251	6.243
8	8	1	1	1	1	2	2	2	6.368	6.319	6.293	6.348
9	17	1	1	2	1	1	1	1	5.900	5.983	5.724	5.974
10	18	1	1	2	1	1	1	2	5.867	5.793	5.766	6.079
11	19	1	1	2	1	1	2	1	6.270	6.584	6.074	6.211
12	20	1	1	2	1	1	2	2	6.237	6.395	6.116	6.315
13	21	1	1	2	1	2	1	1	5.781	5.737	5.472	5.681
14	22	1	1	2	1	2	1	2	5.747	5.548	5.515	5.786
15	23	1	1	2	1	2	2	1	6.151	6.339	5.822	5.917
16	24	1	1	2	1	2	2	2	6.117	6.149	5.864	6.022
17	33	1	2	1	1	1	1	1	6,235	6,054	6,190	6,265
18	34	1	2	1	1	1	1	2	6.202	5.864	6.232	6.370
19	35	1	2	1	1	1	2	1	6.605	6.655	6.539	6.502
20	36	1	2	1	1	1	2	2	6.571	6.466	6.582	6.606

22	37	1	2	1	1	2	1	1	6.116	5.808	5.938	5.972
22	38	1	2	1	1	2	1	2	6.082	5.619	5.980	6.076
23	39	1	2	1	1	2	2	1	6.486	6.410	6.288	6.208
24	40	1	2	1	1	2	2	2	6.452	6.220	6.330	6.313
25	49	1	2	2	1	1	1	1	5.984	5.884	5.761	5.939
26	50	1	2	2	1	1	1	2	5.951	5.694	5.803	6.044
27	51	1	2	2	1	1	2	1	6,354	6,485	6,110	6,176
28	52	1	2	2	1	1	2	2	6.321	6.296	6.153	6.280
29	53	1	2	2	1	2	1	1	5.865	5.638	5.509	5.646
30	54	1	2	2	1	2	1	2	5.831	5.449	5.551	5.751
31	55	1	2	2	1	2	2	1	6.235	6.240	5.859	5.882
32	56	1	2	2	1	2	2	2	6.201	6.050	5.901	5.987
33	65	2	1	1	1	1	1	1	5.973	6.276	6.597	6.474
34	66	2	1	1	1	1	1	2	5.940	6.086	6.639	6.578
35	67	2	1	1	1	1	2	1	6.343	6.878	6.947	6.710
36	68	2	1	1	1	1	2	2	6.310	6.688	6.989	6.814
37	69	2	1	1	1	2	1	1	5.854	6.030	6.346	6.180
38	70	2	1	1	1	2	1	2	5.820	5.841	6.388	6.285
39	71	2	1	1	1	2	2	1	6.224	6.632	6.695	6.417
40	72	2	1	1	1	2	2	2	6.190	6.442	6.738	6.521
41	81	2	1	2	1	1	1	1	5.723	6.106	6.168	6.148
42	82	2	1	2	1	1	1	2	5.689	5.916	6.210	6.252
43	83	2	1	2	1	1	2	1	6.092	6.708	6.518	6.384

44	84	2	1	2	1	1	2	2	6.059	6.518	6.560	6.489
45	85	2	1	2	1	2	1	1	5.603	5.860	5.917	5.854
46	86	2	1	2	1	2	1	2	5.569	5.671	5.959	5.959
47	87	2	1	2	1	2	2	1	5.973	6.462	6.266	6.091
48	88	2	1	2	1	2	2	2	5.939	6.272	6.309	6.195
49	97	2	2	1	1	1	1	1	6.057	6.177	6.634	6.439
50	98	2	2	1	1	1	1	2	6.024	5.987	6.676	6.543
51	99	2	2	1	1	1	2	1	6.427	6.779	6.984	6.675
52	100	2	2	1	1	1	2	2	6.394	6.589	7.026	6.779
53	101	2	2	1	1	2	1	1	5.938	5.931	6.382	6.145
54	102	2	2	1	1	2	1	2	5.904	5.742	6.425	6.250
55	103	2	2	1	1	2	2	1	6.308	6,533	6,732	6,382
56	104	2	2	1	1	2	2	2	6,274	6.343	6.774	6.486
57	113	2	2	2	1	1	1	1	5.806	6.007	6.205	6.113
58	114	2	2	2	1	1	1	2	5.773	5.818	6.247	6.217
59	115	2	2	2	1	1	2	1	6.176	6.609	6.555	6.349
60	116	2	2	2	1	1	2	2	6.143	6.419	6.597	6.454
61	117	2	2	2	1	2	1	1	5.687	5.762	5.953	5.819
62	118	2	2	2	1	2	1	2	5.653	5.572	5.996	5.924
63	119	2	2	2	1	2	2	1	6.057	6.363	6.303	6.056
64	120	2	2	2	1	2	2	2	6.023	6.173	6.345	6.160

Lampiran 13

Tabel 4.26 Hasil Prediksi Kadar Air (%)

No	Trial	Faktor Kendali							Replikasi ke			
		A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	5,153	5,194	5,225	5,329
2	2	1	1	1	1	1	1	2	5,356	5,436	4,032	6,962
3	3	1	1	1	1	1	2	1	4,920	4,991	6,521	3,516
4	4	1	1	1	1	1	2	2	5,124	5,233	5,328	5,148
5	5	1	1	1	1	2	1	1	5,352	5,529	6,467	6,903
6	6	1	1	1	1	2	1	2	5,555	5,771	5,274	8,536
7	7	1	1	1	1	2	2	1	5,119	5,326	7,763	5,090
8	8	1	1	1	1	2	2	2	5,322	5,568	6,570	6,722
9	17	1	1	2	1	1	1	1	6,052	5,965	7,313	4,834
10	18	1	1	2	1	1	1	2	6,256	6,207	6,120	6,466
11	19	1	1	2	1	1	2	1	5,820	5,762	8,609	3,020
12	20	1	1	2	1	1	2	2	6,023	6,004	7,416	4,653
13	21	1	1	2	1	2	1	1	6,251	6,300	8,555	6,408
14	22	1	1	2	1	2	1	2	6,454	6,542	7,362	8,040
15	23	1	1	2	1	2	2	1	6,018	6,097	9,851	4,594
16	24	1	1	2	1	2	2	2	6,222	6,339	8,658	6,227
17	33	1	2	1	1	1	1	1	5,369	5,454	4,195	6,863
18	34	1	2	1	1	1	1	2	5,573	5,696	3,002	8,495
19	35	1	2	1	1	1	2	1	5,137	5,251	5,490	5,049
20	36	1	2	1	1	1	2	2	5,340	5,493	4,297	6,682

22	37	1	2	1	1	2	1	1	5,568	5,789	5,437	8,437
22	38	1	2	1	1	2	1	2	5,771	6,031	4,244	10,069
23	39	1	2	1	1	2	2	1	5,335	5,586	6,732	6,623
24	40	1	2	1	1	2	2	2	5,539	5,828	5,539	8,256
25	49	1	2	2	1	1	1	1	6,269	6,224	6,283	6,367
26	50	1	2	2	1	1	1	2	6,472	6,466	5,090	8,000
27	51	1	2	2	1	1	2	1	6,036	6,021	7,578	4,554
28	52	1	2	2	1	1	2	2	6,239	6,263	6,385	6,186
29	53	1	2	2	1	2	1	1	6,467	6,559	7,525	7,941
30	54	1	2	2	1	2	1	2	6,671	6,801	6,332	9,574
31	55	1	2	2	1	2	2	1	6,235	6,356	8,820	6,128
32	56	1	2	2	1	2	2	2	6,438	6,598	7,627	7,760
33	65	2	1	1	1	1	1	1	5,617	5,694	3,958	4,173
34	66	2	1	1	1	1	1	2	5,820	5,936	2,765	5,806
35	67	2	1	1	1	1	2	1	5,384	5,491	5,254	2,360
36	68	2	1	1	1	1	2	2	5,587	5,733	4,061	3,992
37	69	2	1	1	1	2	1	1	5,816	6,029	5,200	5,747
38	70	2	1	1	1	2	1	2	6,019	6,271	4,007	7,380
39	71	2	1	1	1	2	2	1	5,583	5,826	6,496	3,934
40	72	2	1	1	1	2	2	2	5,786	6,068	5,303	5,566
41	81	2	1	2	1	1	1	1	6,516	6,464	6,046	3,678
42	82	2	1	2	1	1	1	2	6,719	6,706	4,853	5,310
43	83	2	1	2	1	1	2	1	6,283	6,261	7,342	1,864

44	84	2	1	2	1	1	2	2	6,487	6,503	6,149	3,497
45	85	2	1	2	1	2	1	1	6,715	6,799	7,288	5,252
46	86	2	1	2	1	2	1	2	6,918	7,041	6,095	6,884
47	87	2	1	2	1	2	2	1	6,482	6,596	8,584	3,438
48	88	2	1	2	1	2	2	2	6,685	6,838	7,391	5,071
49	97	2	2	1	1	1	1	1	5,833	5,953	2,928	5,707
50	98	2	2	1	1	1	1	2	6,036	6,195	1,735	7,339
51	99	2	2	1	1	1	2	1	5,600	5,750	4,223	3,893
52	100	2	2	1	1	1	2	2	5,804	5,992	3,030	5,526
53	101	2	2	1	1	2	1	1	6,032	6,288	4,170	7,281
54	102	2	2	1	1	2	1	2	6,235	6,530	2,977	8,913
55	103	2	2	1	1	2	2	1	5,799	6,085	5,465	5,467
56	104	2	2	1	1	2	2	2	6,002	6,327	4,272	7,100
57	113	2	2	2	1	1	1	1	6,732	6,724	5,016	5,211
58	114	2	2	2	1	1	1	2	6,936	6,966	3,823	6,844
59	115	2	2	2	1	1	2	1	6,500	6,521	6,311	3,398
60	116	2	2	2	1	1	2	2	6,703	6,763	5,118	5,030
61	117	2	2	2	1	2	1	1	6,931	7,059	6,258	6,785
62	118	2	2	2	1	2	1	2	7,134	7,301	5,065	8,418
63	119	2	2	2	1	2	2	1	6,698	6,856	7,553	4,972
64	120	2	2	2	1	2	2	2	6,902	7,098	6,360	6,604

Lampiran 14

Tabel 4.27 Nilai MRSN j

No	Trial	Faktor Kendali							w1*C1j	w2*C2j	TNQLj	MRSN
		A	B	C	D	E	F	G				
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,622804	0,21127	0,834075	0,787951
2	2	1	1	1	1	1	1	2	0,62773	0,217429	0,845159	0,730614
3	3	1	1	1	1	1	2	1	0,551477	0,267941	0,819418	0,864948
4	4	1	1	1	1	1	2	2	0,554434	0,212724	0,767158	1,151153
5	5	1	1	1	1	2	1	1	0,671227	0,162194	0,83342	0,791358
6	6	1	1	1	1	2	1	2	0,67658	0,161598	0,838179	0,766635
7	7	1	1	1	1	2	2	1	0,591813	0,185391	0,777203	1,094653
8	8	1	1	1	1	2	2	2	0,594904	0,162679	0,757583	1,205696
9	17	1	1	2	1	1	1	1	0,686887	0,168519	0,855406	0,678277
10	18	1	1	2	1	1	1	2	0,691606	0,147216	0,838822	0,763303
11	19	1	1	2	1	1	2	1	0,605403	0,26348	0,868882	0,61039
12	20	1	1	2	1	1	2	2	0,608036	0,172535	0,780571	1,075879
13	21	1	1	2	1	2	1	1	0,743425	0,128015	0,87144	0,597626
14	22	1	1	2	1	2	1	2	0,748481	0,117181	0,865662	0,626516
15	23	1	1	2	1	2	2	1	0,652195	0,161733	0,813928	0,894142
16	24	1	1	2	1	2	2	2	0,654858	0,129527	0,784386	1,054703
17	33	1	2	1	1	1	1	1	0,623592	0,211001	0,834593	0,785252
18	34	1	2	1	1	1	1	2	0,62892	0,270826	0,899747	0,458798
19	35	1	2	1	1	1	2	1	0,551771	0,211288	0,763058	1,174423
20	36	1	2	1	1	1	2	2	0,554985	0,208688	0,763674	1,170922
22	37	1	2	1	1	2	1	1	0,672452	0,158535	0,830987	0,80406

22	38	1	2	1	1	2	1	2	0,678286	0,177176	0,855462	0,677991
23	39	1	2	1	1	2	2	1	0,592394	0,161508	0,753903	1,226848
24	40	1	2	1	1	2	2	2	0,595788	0,157567	0,753354	1,230006
25	49	1	2	2	1	1	1	1	0,687417	0,145969	0,833386	0,791538
26	50	1	2	2	1	1	1	2	0,692582	0,147064	0,839646	0,75904
27	51	1	2	2	1	1	2	1	0,605462	0,173947	0,779409	1,082345
28	52	1	2	2	1	1	2	2	0,608376	0,146803	0,755178	1,219505
29	53	1	2	2	1	2	1	1	0,744408	0,116285	0,860693	0,651515
30	54	1	2	2	1	2	1	2	0,75	0,115242	0,865242	0,628623
31	55	1	2	2	1	2	2	1	0,652548	0,129684	0,782232	1,066645
32	56	1	2	2	1	2	2	2	0,655541	0,116606	0,772147	1,122998
33	65	2	1	1	1	1	1	1	0,597769	0,264942	0,862712	0,641344
34	66	2	1	1	1	1	1	2	0,603037	0,314776	0,917812	0,37246
35	67	2	1	1	1	1	2	1	0,530233	0,40868	0,938913	0,273745
36	68	2	1	1	1	1	2	2	0,533557	0,267912	0,80147	0,961129
37	69	2	1	1	1	2	1	1	0,642152	0,179232	0,821384	0,854537
38	70	2	1	1	1	2	1	2	0,647901	0,192694	0,840595	0,754131
39	71	2	1	1	1	2	2	1	0,567335	0,216047	0,783383	1,06026
40	72	2	1	1	1	2	2	2	0,570855	0,180003	0,750858	1,244419
41	81	2	1	2	1	1	1	1	0,656485	0,214462	0,870947	0,600082
42	82	2	1	2	1	1	1	2	0,66172	0,176303	0,838023	0,76744
43	83	2	1	2	1	1	2	1	0,579818	0,514885	1,094702	-0,39296
44	84	2	1	2	1	1	2	2	0,582965	0,224376	0,807341	0,92943
45	85	2	1	2	1	2	1	1	0,70784	0,142556	0,850395	0,703792
46	86	2	1	2	1	2	1	2	0,713507	0,128411	0,841918	0,747302

47	87	2	1	2	1	2	2	1	0,622505	0,208951	0,831456	0,801608
48	88	2	1	2	1	2	2	2	0,625778	0,145534	0,771312	1,1277
49	97	2	2	1	1	1	1	1	0,59809	0,295493	0,893582	0,488654
50	98	2	2	1	1	1	1	2	0,60371	0,583	1,18671	-0,74345
51	99	2	2	1	1	1	2	1	0,530185	0,265492	0,795677	0,992635
52	100	2	2	1	1	1	2	2	0,533735	0,287158	0,820892	0,857138
53	101	2	2	1	1	2	1	1	0,642859	0,186182	0,829041	0,814241
54	102	2	2	1	1	2	1	2	0,649029	0,251724	0,900753	0,453942
55	103	2	2	1	1	2	2	1	0,567542	0,178282	0,745824	1,273636
56	104	2	2	1	1	2	2	2	0,571326	0,183598	0,754924	1,220967
57	113	2	2	2	1	1	1	1	0,656523	0,174073	0,830596	0,8061
58	114	2	2	2	1	1	1	2	0,662145	0,189103	0,851249	0,699436
59	115	2	2	2	1	1	2	1	0,579521	0,229089	0,80861	0,92261
60	116	2	2	2	1	1	2	2	0,582911	0,175604	0,758515	1,200361
61	117	2	2	2	1	2	1	1	0,708282	0,12706	0,835342	0,781359
62	118	2	2	2	1	2	1	2	0,714413	0,131906	0,84632	0,724656
63	119	2	2	2	1	2	2	1	0,62247	0,146384	0,768854	1,14156
64	120	2	2	2	1	2	2	2	0,626029	0,127562	0,753591	1,228641