

**SISTEM KONTROL PENGADUK PADA ALAT PENERING
GABAH BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**Disusun oleh :
NIKEN SUPRPTI
12306141004**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016**

**SISTEM KONTROL PENGADUK PADA ALAT PENERING
GABAH BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



**Disusun oleh :
NIKEN SUPRPTI
12306141004**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2016**

**PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR SKRIPSI**

**JUDUL
SISTEM KONTROL PENGADUK PADA ALAT PENERING GABAH
BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8**

Disusun oleh:

NAMA : NIKEN SUPRAPTI

NIM : 12306141004

Skripsi ini telah memenuhi persyaratan dan siap diujikan

Disetujui dan disahkan oleh pembimbing pada

Hari : Selasa

Tanggal : 15 - 11 - 2016

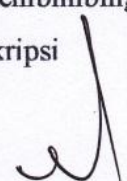
Untuk dipertahankan di depan tim penguji skripsi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta

Yogyakarta, 15 - 11 - 2016

Menyetujui,

Dosen Pembimbing Tugas



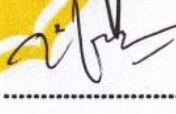
Akhir Skripsi


Agus Purwanto, M. Sc.

NIP. 19650813 199512 1 001

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “SISTEM KONTROL PENGADUK PADA ALAT PENERING GABAH BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8” yang disusun oleh Niken Suprapti, NIM 12306141004 ini telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal 24 November 2016 dan telah dinyatakan lulus.

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Agus Purwanto, M. Sc. NIP. 19650813 199512 1 001	Ketua Penguji		29-11-2016
R.Yosi Aprian Sari, M. Si. NIP. 19730407 200604 1 001	Sekretaris Penguji		29-11-16
Laila Katriani, M. Si. NIP. 19850415 201212 2 001	Penguji I (Utama)		28-11-2016

Yogyakarta,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dekan,



Dr. Hartono

NIP. 19620329 198702 1 002

PERNYATAAN

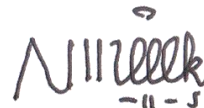
Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Niken Suprapti
NIM : 12306141004
Progran Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Sistem Kontrol Pengaduk Pada Alat Pengering
Gabah Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8

Menyatakan bahwa karya ilmiah ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau telah digunakan sebagai persyaratan penyelesaian studi di Perguruan Tinggi lain kecuali pada bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan. Apabila ternyata terbukti pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan.

Yogyakarta,

Yang menyatakan,



Niken Suprapti
NIM. 12306141004

MOTTO

Jika Saya Mau Apapun Saya Bisa

Keberhasilan tidak diukur dengan apa yang telah anda raih, namun kegagalan yang telah anda hadapi dan keberanian yang membuat anda tetap berjuang melawan rintangan yang datang bertubi-tubi (Orison Sweett Marden).

PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim
Alhamdulillahirobbilalamin

Dengan segala kerendahan hati, karya sederhana ini saya persembahkan:

1. Untuk kedua orang tua saya, Ibu (Indarti) dan Bapak (Boiman) yang dengan penuh kasih sayang, do'a tiada henti dan selalu menjadi motivasi, inspirasi dan penyemangat utama saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Untuk mbah Uti, bupoh Hartini, pak Wahono dan saudara-saudara tersayang (Fahriza, Riski, mas Nur, mbak Erna, mbak Eka, mbak Vera) yang selalu mendukung, memberi motivasi dan selalu membantu baik secara moral maupun material.
3. Untuk para sahabat dan keluarga baru saya di kota istimewa ini yang memberikan banyak kenangan, saling mendukung dan berjuang bersama (Adilia Rismawati, Dina Nur'aina Arief, Endah Kurnia Wati), teman seperjuangan skripsi Husnul Amri, *my big family* Fis B 2012, teman-teman satu konsentrasi Elin, HIMAFI 2012/2013 dan HIMAFI 2013/2014.
4. Untuk semua yang selalu mendukung, mendoakan dan membantu. Yang pernah datang maupun yang akan datang, terimakasih untuk semuanya.

**JANGAN PERNAH MENYERAH, TETAP SEMANGAT dan SELALU
MENGJNSPJRASJ.**

SISTEM KONTROL PENGADUK PADA ALAT PENERING GABAH BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA 8

Oleh :

Niken Suprapti

12306141004

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui diagram blok sistem kontrol pengaduk, mengetahui fungsi transfer sistem kontrol pengaduk dan mengetahui pola distribusi suhu gabah pada alat pengering gabah.

Diagram blok sistem kontrol pengaduk tersusun atas komponen-komponen penyusun sistem kontrol pengaduk. Untuk memperoleh fungsi transfer sistem kontrol pengaduk, maka dilakukan penelitian karakteristik masing-masing komponen penyusun sistem kontrol. Pola distribusi suhu gabah dalam tabung pengering diperoleh dengan menganalisis persamaan panas nonhomogen tiga dimensi dengan menggunakan sistem koordinat silinder.

Diagram blok sistem kontrol pengaduk tersusun atas blok sensor suhu LM 35DZ 1, blok sensor suhu LM 35DZ 2, blok potensiometer, blok mikrokontroler, blok *optocoupler*, blok transistor, blok *relay*, blok motor AC, blok pengaduk dan blok proses pengadukan. Fungsi transfer sistem kontrol pengaduk adalah perbandingan antara *output* alat pengering gabah berupa suhu gabah dengan *input* berupa pergeseran potensiometer. Distribusi suhu gabah dalam tabung pengering mengikuti bentuk tabung pengering yang berupa silinder. Pola distribusi suhu gabah menunjukkan bahwa suhu mengalami penurunan disertai dengan fluktuasi dari sumber panas sampai kulit dan tutup tabung pengering. Seiring dengan bertambahnya waktu, fluktuasi semakin berkurang sehingga distribusi suhu gabah menunjukkan pola *steady-state*.

Kata kunci: diagram blok, fungsi transfer, pola distribusi suhu

MIXER CONTROL SYSTEM ON THE PADDY DRYER BASED ON MICROCONTROLLER ATMEGA 8

By Niken Suprapti

12306141004

ABSTRACT

The research aimed to determine block diagram of mixer control system, to determine transfer function of mixer control system and to determine the pattern of temperature distribution on the paddy dryer.

The block diagram of the mixer control system was composed of components of the mixer control system. The characteristic of each control system component was studied to determine the transfer function of the mixer control system. The pattern of temperature distribution in the tube dryer was obtained by analyzing the three dimensional nonhomogeneous heat equation using a cylindrical coordinate system.

The block diagram of the mixer control system was composed of block of temperatur sensor of LM 35DZ 1, temperatur sensor of LM 35DZ 2, potentiometer, microcontroller, optocoupler, transistor, relay, AC motor, mixer and block of mixer process. Transfer function of mixer control system was the ratio of the output of paddy dryer in the form of paddy temperature, were the input was potentiometer sliding potition. The paddy temperature distribution in the tube dryer followed the dryer tube construction, which was cylindrical dryer tube . The pattern of temperature distribution showed that the temperature decreased along with the temperature fluctuation from the heat source. The fluctuation decreased with increasing time, so the paddy temperature distribution showed steady-state pattern.

Keyword: block diagram, transfer function, pattern of temperature distribution

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan atas nikmat yang senantiasa Allah SWT berikan sehingga penelitian yang berjudul “Sistem Kontrol Pengaduk Pada Alat Pengering Gabah Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8” dapat diselesaikan dengan baik.

Penelitian dan penyusunan Skripsi ini tidak dapat terlaksana dengan baik tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Dr. Hartono, selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan izin atas penyusunan skripsi ini.
2. Yusman Wiyatmo, M.Si selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan kegiatan penelitian ini.
3. Nur Kadarisman, M.Si selaku Ketua Prodi Fisika FMIPA UNY yang telah memberikan izin atas penyusunan skripsi ini.
4. Agus Purwanto M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penyusunan naskah skripsi ini.
5. Bapak Aan Ardian, M.Pd. serta tim karya teknik alat pengering gabah atas kerjasamanya dalam pembuatan alat yang digunakan dalam penelitian ini.
6. Budi Purwanto, M.Si (Alm) dan Dr. Ariswan selaku Penasehat Akademik yang selalu memberikan arahan.

7. Semua Dosen Fisika Universitas Negeri Yogyakarta yang telah banyak memberikan ilmu dan bimbingan selama perkuliahan.
8. Teman-teman satu konsentrasi “ELIN” yang telah bersedia membantu dan bertukar pikiran dalam melakukan penelitian.
9. Teman-teman Fisika B 2012 yang selalu memberikan motivasi.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari dalam penyusunan naskah Skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharap saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga naskah Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis pada khususnya dan dapat menambah wawasan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta,
Penulis

Niken Suprapti
NIM. 12306141004

DAFTAR ISI

	hal
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
 BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah	5
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. Sistem Kontrol	7
1. <i>Closed Loop</i> dan <i>Open Loop Control System</i>	7
2. Transformasi Laplace dan Invers Transformasi Laplace	10
3. Fungsi Transfer dan Diagram Blok	12
B. Proses Pengeringan dan Perpindahan Panas	17
1. Proses Pengeringan	17
2. Penurunan Persamaan Panas	20
3. Syarat Awal dan Syarat Batas	23
4. Pemisahan Variabel	24
5. Kapasitas Panas dan Panas Jenis	34
C. Mikrokontroler ATMEGA 8	36
D. Sensor Suhu LM 35DZ	37
E. Saklar	39
1. <i>Optocoupler</i>	39
2. Transistor	41
F. <i>Relay</i>	43
G. Kerangka Berfikir	44

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	46
B. Variabel Penelitian	46
C. Alat dan Bahan Penelitian	46

D. Langkah Kerja	47
1. Menguji dan Mengkalibrasi Sensor Suhu LM 35DZ	47
2. Menguji Penempatan Sensor Suhu LM 35DZ	48
3. Mengkarakterisasi Potensiometer	50
4. Mengukur Konduktivitas Panas Gabah	51
5. Mengukur Panas Jenis Gabah	52
6. Mengukur Torsi Pengaduk	54
7. Mengukur Percepatan Gravitasi	54
8. Mengukur Tegangan Keluaran AC PLN	55
E. Teknik Analisis Data	55
1. Analisis Diagram Blok	55
2. Analisis Fungsi Transfer	56
3. Analisis Data Hasil Percobaan Konduktivitas Panas Gabah	56
4. Analisis Data Hasil Percobaan Panas Jenis Gabah	57
5. Analisis Pengukuran Torsi Pengaduk	57
6. Analisis Pengukuran Percepatan Gravitasi	57
7. Analisis Distribusi Suhu Gabah dalam Tabung Pengering Gabah ..	58

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Kontrol Pengaduk	59
1. Sensor Suhu LM 35DZ	63
2. Potensiometer	71
3. Mikrokontroler	73

4. <i>Optocoupler</i>	75
5. Transistor	77
6. <i>Relay</i>	78
7. Motor AC	79
8. Pengaduk	83
9. Diagram Blok dan Fungsi Transfer Keseluruhan Sistem	87
B. Distribusi Suhu Gabah	90
1. Pengukuran Konduktivitas Panas Gabah	90
2. Pengukuran Panas Jenis Gabah	96
3. Distribusi Suhu Gabah dalam Tabung Pengering	98

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	103
B. Saran	104

DAFTAR PUSTAKA	105
-----------------------------	-----

LAMPIRAN	107
-----------------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Open loop control system</i>	8
Gambar 2. <i>Closedloop control system</i>	9
Gambar 3. (a) Elemen diagram blok; (b) Titik penjumlahan	14
Gambar 4. Diagram blok <i>closed loop system</i>	15
Gambar 5. Diagram blok awal	17
Gambar 6. Diagram blok ekuivalen	17
Gambar 7. Konduksi panas pada batang	21
Gambar 8. Konfigurasi pin ATMEGA8	36
Gambar 9. (a) Fisik sensor LM 35DZ dan (b) Skema pin LM 35DZ	37
Gambar 10. Grafik linieritas suhu LM 35DZ.....	38
Gambar 11. Rangkaian dasar <i>Optocoupler</i>	40
Gambar 12. (a) Transistor BC547 ; (b) Kurva karakteristik dan daerah kerja transistor.....	41
Gambar 13. Transistor sebagai saklar	42
Gambar 14. Terminal/ kaki pada <i>relay</i>	44
Gambar 15. Set alat kalibrasi sensor suhu LM 35DZ	48
Gambar 16. (a) Salah satu ujung tabung dan (b) Variasi penempatan sensor.....	50
Gambar 17. Potensiometer geser	51
Gambar 18. Set alat pengukuran konduktivitas panas gabah	52
Gambar 19. Kalorimeter	53
Gambar 20. Diagram blok sistem kontrol pengaduk	59

Gambar 21. Arah arus pada rangkaian listrik sistem kontrol pengaduk saat motor AC dalam keadaan <i>OFF</i>	61
Gambar 22. Arah arus pada rangkaian listrik sistem kontrol pengaduk saat motor AC dalam keadaan <i>ON</i>	62
Gambar 23. Grafik antara perubahan suhu terhadap waktu pada variasi massa gabah 4 kg dan 8 kg	63
Gambar 24. Grafik perubahan suhu terhadap waktu pada variasi posisi penempatan sensor dengan massa tetap 8 kg	65
Gambar 25. Grafik dan hasil analisis perubahan suhu terhadap tegangan LM 35DZ 1	67
Gambar 26. Diagram blok sensor suhu LM 35DZ 1	69
Gambar 27. Grafik dan analisis hubungan antara suhu dan tegangan pada LM 35DZ 2	69
Gambar 28. Diagram blok sensor suhu LM 35DZ 2	71
Gambar 29. Grafik dan analisis tegangan terhadap pergeseran potensiometer .	72
Gambar 30. Diagram blok potensiometer	73
Gambar 31. Diagram blok mikrokontroler ATMEGA 8	75
Gambar 32. Diagram blok <i>optocoupler</i>	76
Gambar 33. Rangkaian saklar transistor	77
Gambar 34. Diagram blok transistor	78
Gambar 35. Rangkaian driver <i>relay</i>	78
Gambar 36. Diagram blok <i>relay</i>	79
Gambar 37. Diagram blok motor AC	80

Gambar 38. Gelombang tegangan AC PLN diamati dengan CRO.....	80
Gambar 39. Gelombang tegangan AC PLN hasil analisis dengan Spectra Plus.	81
Gambar 40. Grafik hubungan antara tegangan terhadap waktu hasil pemotongan gelombang AC PLN dengan Spectra Plus	81
Gambar 41. Grafik hubungan antara V^2 terhadap waktu hasil pemotongan gelombang AC PLN pada Spectra Plus	82
Gambar 42. Diagram blok pengaduk	84
Gambar 43. Diagram blok proses pengadukan	84
Gambar 44. Diagram blok distribusi suhu akibat pengadukan	85
Gambar 45. Grafik periode T^2 terhadap panjang tali l dan hasil analisis grafik	87
Gambar 46. Diagram blok sistem kontrol pengaduk	88
Gambar 47. Reduksi diagram blok sistem kontrol pengaduk	88
Gambar 48. Diagram blok ekivalen sistem kontrol pengaduk	90
Gambar 49. Grafik distribusi suhu terhadap waktu untuk gabah basah kering ..	90
Gambar 50. Grafik distribusi suhu terhadap waktu untuk gabah kering.....	91
Gambar 51. Grafik suhu terhadap posisi pada t (430-625) sekon untuk gabah basah	92
Gambar 52. Grafik uji diskripsi nilai gradien suhu pada gabah basah.....	92
Gambar 53. Grafik suhu terhadap posisi pada t (100-295) sekon untuk gabah basah kering	93
Gambar 54. Grafik uji diskripsi nilai gradien suhu pada gabah basah/kering	94
Gambar 55. Grafik suhu terhadap posisi pada t (190-385) sekon untuk gabah kering	94

Gambar 56. Grafik uji diskripsi nilai gradien suhu pada gabah kering.....	95
Gambar 57. Distribusi suhu menit ke-1	100
Gambar 58. Distribusi suhu menit ke-5	101
Gambar 59. Distribusi suhu menit ke-10	102
Gambar 60. Rangkaian listrik sistem kontrol pengaduk	108
Gambar 61. Rangkaian Power supply	109
Gambar 62. Rangkaian system minimum ATMEGA 8	110
Gambar 63. Alat pengering gabah	159
Gambar 64. Model pengaduk.....	159
Gambar 65. Motor AC yang terkopel denga <i>reducer</i>	159

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tabel transformasi Laplace	12
Tabel 2. Data hasil pengujian karakteristik transistor	77
Tabel 3. Perbandingan tegangan AC hasil analisis	86
Tabel 4. Data hasil pengukuran panas jenis gabah dalam keadaan basah	97
Tabel 5. Data hasil pengukuran panas jenis gabah dalam keadaan basah/kering	97
Tabel 6. Data hasil pengukuran panas jenis gabah dalam keadaan kering	97
Tabel 7. Data nilai panas jenis gabah berbagai keadaan	98
Tabel 8. Data hasil pengukuran konduktivitas, kapasitas panas, massa jenis dan konstanta difusivitas gabah	99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rangkaian listrik sistem kontro pengaduk	108
Lampiran 2. Data pengukuran distribusi suhu gabah atas dan bawah dengan variasi massa gabah	111
Lampiran 3. Data pengukuran distribusi suhu gabah atas dan bawah menggunakan massa gabah 8 kg dengan variasi penempatan sensor	122
Lampiran 4. Data hasil pengukuran suhu gabah (konduktivitas).....	132
Lampiran 5. Tabel perhitungan $\frac{dT}{dx}$ konduktivitas Panas Gabah.....	136
Lampiran 6. Proses rata-rata berbobot $\frac{dT}{dx}$ konduktivitas panas gabah	140
Lampiran 7. Tabel potongan data tegangan <i>output</i> transformator <i>step-down</i>	141
Lampiran 8. Pengukuran percepatan gravitasi	153
Lampiran 9. Data perubahan suhu terhadap waktu	154
Lampiran 10. Grafik dan hasil analisis perubahan suhu terhadap waktu.....	157
Lampiran 11. Data karakterisasi sensor suhu LM 35DZ	158
Lampiran 12. Dokumentasi alat pengering gabah.....	159

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sebagian besar penduduk Indonesia bermatapencaharian sebagai petani. Dalam survei pertanian yang dilakukan Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2013 jumlah petani di Indonesia mencapai 31,7 juta orang. Dua puluh koma empat (20,4) juta orang merupakan petani pangan. Komoditas pertanian yang umumnya ditanam adalah padi. Produksi gabah di Indonesia mengalami peningkatan yaitu 54 juta ton di tahun 2005, menjadi 68,9 juta ton pada tahun 2012. Akan tetapi, kehilangan gabah hasil panen yang disebabkan oleh proses penjemuran di bawah sinar matahari langsung mencapai (2,3-2,6) %. Masyarakat di Indonesia selama ini telah terbiasa melakukan pengeringan gabah dengan cara konvensional, yaitu dengan cara menjemur langsung di bawah sinar matahari (Gunawan, 2013: 98).

Pengeringan gabah dengan cara konvensional biasanya membutuhkan waktu tiga hari. Permasalahan muncul ketika musim penghujan. Para petani tidak dapat menjemur hasil panen mereka sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan gabah menjadi lebih lama, berkisar antara (3-7) hari (Riska, 2013: 122). Selain itu, produk gabah hasil pengeringan tidak seragam dan membutuhkan biaya operasional yang besar. Permasalahan ini akan bertambah karena pengeringan gabah juga memerlukan lahan yang luas dengan pekerjaan yang berat karena petani harus membolak-balikkan gabah yang terhampar di atas lahan lapang setiap jamnya dan membutuhkan banyak tenaga karena dilakukan di bawah terik matahari.

Pembalikan gabah bertujuan untuk meratakan suhu gabah sehingga menimbulkan keseragaman kadar air gabah. Ketika gabah dihamparkan pada lahan pengeringan, tumpukan gabah mempunyai ketebalan yang bervariasi. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya variasi kadar air antara posisi gabah yang satu dengan yang lainnya, terutama pada ketebalan yang rendah ketika suhu yang relatif tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada gabah. Semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan, maka semakin cepat laju pengeringan. Menurut Taib dalam Risharyanto (2004: 14) pengeringan yang terlalu cepat menyebabkan permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan ke permukaan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (*case hardening*). Selanjutnya air di dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang. Pada lapisan gabah yang tebal, laju pengeringannya menjadi rendah. Laju pengeringan yang terlalu rendah menyebabkan penurunan kualitas pada rasa dan aroma beras. Untuk menghindari hal tersebut, pembalikan gabah merupakan bagian penting yang harus dilakukan pada proses pengeringan.

Saat ini sudah banyak sekali berkembang alat-alat pengering gabah. Beberapa diantaranya adalah: *batch dryer*, *continuous flow dryer*, *tunnel dryer* dan *rotary dryer*. Kebanyakan dari alat pengering gabah hanya mengontrol suhu tanpa mengontrol pembalikan gabah sehingga pembalikan gabah masih dilakukan secara manual. Dengan adanya pengering gabah menggunakan metode berbasis sistem otomatis, diharapkan mampu menjadi

solusi bagi para petani untuk mendapatkan gabah dalam keadaan kering tanpa harus melakukan pembalikan gabah secara manual yang membutuhkan banyak tenaga.

Pengeringan berbasis sistem otomatis berarti suatu alat yang dapat bekerja dengan sendirinya yang mempunyai kemampuan untuk mengkoreksi keadaan yang berbeda dari keadaan normal tanpa adanya intervensi dari manusia. Alat dengan kemampuan seperti itu bekerja dengan *closed loop control system*. Pada *closed loop control system*, hasil koreksi dari sistem *closed loop* kemudian dijadikan umpan balik (*feed back*) sehingga sistem terus bisa mengontrol objek yang dikontrol. *Closed loop control system* merupakan salah satu jenis *control system* (Ogata, 1996: 6).

Kontrol otomatis terhadap mesin sekarang ini adalah bagian vital dari industri modern. Ada banyak alat yang bekerja menggunakan sistem kontrol di dalamnya dan setiap alat mempunyai karakteristik yang berbeda-beda (Bolton, 2006: 85).

Pada sistem kontrol pengaduk, objek yang dikontrol adalah motor AC 1 fasa ¼ HP yang terhubung dengan pengaduk. Sistem kontrol pengaduk bekerja berdasarkan pada perbedaan suhu gabah bagian atas dan bagian bawah. Apabila terjadi perbedaan suhu 3°C diantara keduanya, maka pengaduk akan berputar sehingga diharapkan dapat meratakan suhu gabah untuk setiap titiknya.

Nilai beda suhu sebesar 3°C tersebut kemudian dijadikan sebagai *set point* dari sistem kontrol pengaduk. Pemilihan nilai *set point* tersebut

dilakukan melalui percobaan. Dengan hasil bahwa ketika *set point* dipilih $< 3^{\circ}\text{C}$, maka pengaduk akan terus berputar sehingga sistem seperti tidak dilakukan pengontrolan. Sedangkan ketika *set point* dipilih $> 3^{\circ}\text{C}$, maka pengaduk jarang berputar sehingga menyebabkan gabah menjadi gosong karena terkena pemanas.

Proses pengeringan dilakukan dengan pengadukan berkali-kali sehingga tidak hanya permukaan atas yang mengalami proses pengeringan, namun juga pada seluruh bagian yaitu atas dan bawah secara bergantian, sehingga pengeringan yang dilakukan akan lebih merata. Karena adanya pengadukan, maka akan terjadi kontak bahan dengan dinding. Pengeringan yang terjadi akibat kontak bahan dengan dinding menyebabkan perpindahan panas konduksi karena panas dialirkan melalui media yang berupa logam dan dikonduksikan ke gabah. Karena bentuk alat pengering menggunakan drum silinder, maka analisis persebaran panas secara konduksi dilakukan menggunakan sistem koordinat silinder.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Proses pengeringan gabah secara konvensional masih mengalami banyak kendala, diantaranya tergantung pada cuaca, membutuhkan lahan yang luas, proses pembalikan gabah membutuhkan banyak tenaga serta waktu pembalikan gabah yang kurang efisien.

2. Pembalikan gabah masih dilakukan dengan cara manual sehingga perlu adanya pengering gabah dengan sistem kontrol pengaduk otomatis.
3. Perlu diketahui karakteristik sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah.
4. Perlu diketahui pola distribusi suhu gabah pada proses pengeringan gabah.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini permasalahan yang dibahas hanya dibatasi pada:

1. Pembuatan pengaduk pada alat pengering gabah dengan menggunakan motor AC 1 fasa $\frac{1}{4}$ HP 1400 rpm dengan model pengaduk turbin yang mempunyai 4 buah sirip dan *set point* beda suhu 3°C .
2. Karakteristik baik dan buruknya kinerja pengaduk, bukan pada proses pembuatan pengaduk hingga mencapai kinerja yang maksimal.
3. Proses transfer panas secara konduksi menggunakan sistem koordinat silinder.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana diagram blok sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah?

2. Bagaimana bentuk fungsi transfer sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah?
3. Bagaimana pola distribusi suhu gabah pada alat pengering gabah?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui diagram blok sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah.
2. Mengetahui bentuk fungsi transfer sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah.
3. Mengetahui pola distribusi suhu gabah pada alat pengering gabah.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain:

1. Memberikan pengetahuan tentang diagram blok sistem kontrol pengaduk, bentuk fungsi transfer sistem kontrol pengaduk dan pola distribusi suhu gabah pada alat pengering gabah sehingga dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya dengan hasil yang lebih baik.
2. Memberikan solusi bagi para petani untuk mendapatkan gabah dalam keadaan kering tanpa harus melakukan pembalikan gabah secara manual yang membutuhkan banyak tenaga.
3. Memberikan manfaat untuk perkembangan mesin di industri pertanian.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

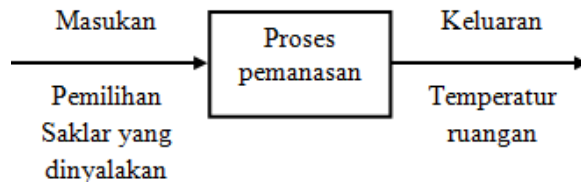
A. Sistem Kontrol

1. *Closed Loop dan Open Loop Control System*

Menurut Mandal (2006: 20), sistem kontrol diklasifikasikan menjadi tipe *self-correcting* dan tipe *non self-correcting*. Maksud *self-correcting* adalah kemampuan sistem untuk memantau, mengukur dan memeriksa variabel tertentu dan mengoreksi sistem apabila variabel tersebut melebihi batas yang telah ditentukan tanpa adanya campur tangan manusia. Sistem dengan kemampuan seperti itu disebut sebagai *feedback system* atau *closed loop system*. Sedangkan tipe *non self-correcting* adalah kebalikan dari tipe *self-correcting* dan sering disebut sebagai *open loop system*.

Terdapat dua buah alternatif cara pemanasan ruangan untuk mencapai temperatur ruang yang diinginkan. Pada contoh pertama, terdapat sebuah pemanas ruangan yang memiliki saklar pilihan untuk memilih elemen pemanas 1 kW atau 2 kW. Pada kasus pertama, untuk mendapat temperatur ruang yang diinginkan maka seseorang hanya menghidupkan saklar elemen pemanas 1 kW. Ruangan akan dipanaskan dan mencapai temperatur yang ditentukan oleh kondisi elemen 1 kW yang menyala. Dengan demikian, temperatur ruangan dikendalikan oleh keputusan awal dan tidak akan ada penyesuaian atau pengaturan lebih jauh yang diperlukan. Ini merupakan contoh *open loop system*. Gambar 1 mengilustrasikan *open loop control system*. Jika terjadi perubahan kondisi, misalnya seseorang tiba-tiba membuka

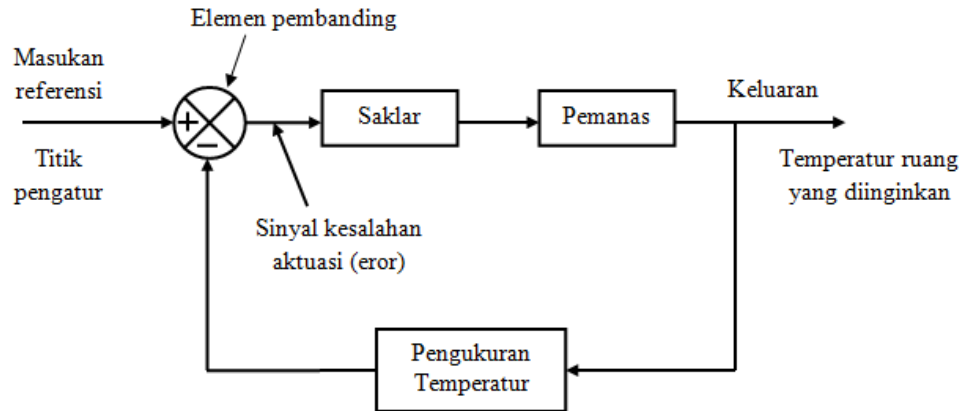
jendela ruangan tersebut, maka tidak ada langkah penyesuaian yang dilakukan terhadap keluaran panas elemen untuk menyesuaikan perubahan yang terjadi. Tidak ada informasi yang diumpankan kembali ke elemen pemanas untuk melakukan penyesuaian agar dapat mempertahankan temperatur konstan.



Gambar 1. *Open loop control system*

Pada contoh yang kedua, tinjau sebuah sistem pemanas listrik yang berbeda. Untuk memperoleh temperatur yang diinginkan, seseorang berdiri di dalam ruangan sambil memegang sebuah termometer dan menyalakan atau mematikan saklar-saklar pilihan elemen pemanas 1 kW dan 2 kW berdasarkan selisih yang teramati antara temperatur ruangan yang sebenarnya dan temperatur yang diinginkan untuk menjaga agar temperatur ruangan selalu konstan pada nilai yang diinginkan. Terjadi perbandingan secara terus menerus antara temperatur yang sebenarnya dan temperatur yang dikehendaki. Dalam situasi ini terjadi proses umpan balik (*feedback*), informasi diumpankan kembali dari keluaran sistem untuk memodifikasi masukan sistem. Tipe sistem seperti ini dikenal sebagai *closed loop control system*. Masukan untuk pemanasan tergantung pada besarnya deviasi antara temperatur sebenarnya yang diumpankan kembali dari keluaran sistem dan temperatur yang dikehendaki yang telah diset sebelumnya. Selisih antara

keduanya dapat ditentukan oleh sebuah elemen pembanding. Dalam contoh ini, seseorang yang memegang termometer merupakan elemen pembandingnya. Gambar 2 mengilustrasikan *closed loop control system*.



Gambar 2. *Closed loop control system*.

Perhatikan bahwa elemen pembanding dalam *closed loop control system* direpresentasikan oleh sebuah simbol lingkaran dengan tanda (+) pada nilai pengaturan dari masukan dan tanda (-) pada sinyal umpan baliknya. Lingkaran merepresentasikan unit penjumlahan, dan penjumlahan yang didapat adalah:

$$+ \text{ nilai pengaturan} - \text{ nilai umpan balik} = \text{error}$$

Selisih antara nilai pengaturan dan nilai umpan balik ini disebut sebagai *error*, dan merupakan sinyal yang digunakan untuk mengontrol proses. Jika terdapat selisih antara sinyal-sinyal ini, maka keluaran sebenarnya tidak sama dengan keluaran yang diinginkan. Ketika keluaran sebenarnya sama dengan keluaran yang diinginkan, maka *error*-nya akan sama dengan nol. Karena sinyal umpan balik dikurangkan dari sinyal nilai pengaturan, maka sistem dikatakan memiliki umpan balik *negatif* (Bolton, 2006: 87-88).

2. Transformasi Laplace dan Invers Transformasi Laplace

Menurut Ogata (1996: 15-18), transformasi Laplace dari $f(t)$ didefinisikan sebagai berikut:

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} dt[f(t)] = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad (1)$$

dimana :

$f(t)$ = fungsi waktu t sedemikian rupa sehingga $f(t) = 0$ untuk $t < 0$

s = variabel kompleks

\mathcal{L} = simbol operator yang mengindikasikan bahwa besaran yang berada di belakangnya ditransformasikan dengan $\int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt$

$F(s)$ = transformasi Laplace dari $f(t)$

Proses sebaliknya untuk menemukan fungsi $f(t)$ dari $F(s)$ disebut dengan invers transformasi Laplace. Notasi untuk invers transformasi Laplace adalah \mathcal{L}^{-1} , sehingga:

$$\mathcal{L}^{-1}[F(s)] = f(t) \quad (2)$$

Sebagai contoh akan dibahas transformasi Laplace dan inversnya pada fungsi eksponensial. Diberikan fungsi eksponensial sebagai berikut :

$$\begin{aligned} f(t) &= 0 && \text{untuk } t < 0 \\ &= Ae^{-at} && \text{untuk } t \geq 0 \end{aligned}$$

dimana A dan a adalah konstanta. Transformasi Laplace untuk fungsi eksponensial tersebut dapat diselesaikan sebagai berikut:

$$\mathcal{L}[Ae^{-at}] = \int_0^{\infty} Ae^{-at} e^{-st} dt = A \int_0^{\infty} e^{-(a+s)t} dt = \frac{A}{s+a} \quad (3)$$

$$\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{A}{s+a}\right] = Ae^{-at} \quad (4)$$

Persamaan (3) adalah cara menentukan transformasi Laplace untuk fungsi eksponensial Ae^{-at} , sedangkan persamaan (4) merupakan invers transformasi Laplace dari $\frac{A}{s+a}$. Selanjutnya, apabila diberikan fungsi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f(t) &= 0 && \text{untuk } t < 0 \\ &= A && \text{untuk } t > 0 \end{aligned}$$

$$\mathcal{L}[A] = \int_0^{\infty} A e^{-st} dt = A \int_0^{\infty} e^{-st} dt = \frac{A}{s} \quad (5)$$

$$\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{A}{s}\right] = A \quad (6)$$

Pada transformasi Laplace lainnya, transformasi Laplace fungsi $f(t)$ dapat diselesaikan dengan mengalikan $f(t)$ dengan e^{-st} dan kemudian diintegrasikan dari $t = 0$ sampai $t = \infty$. Setelah diketahui cara memperoleh transformasi Laplace, hal tersebut tidak perlu dilakukan berulang kali. Tabel transformasi Laplace dapat digunakan untuk mengetahui hasil dari berbagai jenis fungsi $f(t)$. Tabel 1 menunjukkan transformasi Laplace dari fungsi waktu yang sering muncul pada analisis sistem kontrol.

Tabel 1. Tabel transformasi Laplace

No	$f(t)$	$F(s)$
1	Unit step $1(t)$	$\frac{1}{s}$
2	t	$\frac{1}{s^2}$
3	e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
4	$\sin \omega t$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
5	$\cos \omega t$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$

3. Fungsi Transfer dan Diagram Blok

a. Fungsi transfer

Menurut Ogata (1996: 45-46) dalam teori kontrol, fungsi transfer digunakan untuk mencirikan hubungan masukan dan keluaran dari sistem linier parameter konstan. Konsep fungsi transfer ini hanya digunakan pada sistem linier parameter konstan. Fungsi transfer sistem linier parameter konstan didefinisikan sebagai perbandingan dari transformasi Laplace keluaran dan transformasi Laplace masukan dengan asumsi semua kondisi awal bernilai nol. Sistem linier parameter konstan dinyatakan dengan persamaan diferensial linier (persamaan (7)):

$$a_0 y^n + a_1 y^{n-1} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y = b_0 x^m + b_1 x^{m-1} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + b_m x \quad (7)$$

dengan $n \geq m$, y adalah keluaran sistem dan x adalah masukan sistem. Fungsi transfer dari sistem ini diperoleh dengan mencari transformasi Laplace

dari kedua ruas persamaan (7) dengan asumsi semua keadaan awal bernilai nol.

$$\begin{aligned} \text{Fungsi transfer } G(s) &= \frac{\mathcal{L}[\text{keluaran}]}{\mathcal{L}[\text{masukan}]}\bigg|_{\text{keadaan awal nol}} \\ &= \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0s^m + b_1s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s + b_m}{a_0s^n + a_1s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s + a_n} \quad (8) \end{aligned}$$

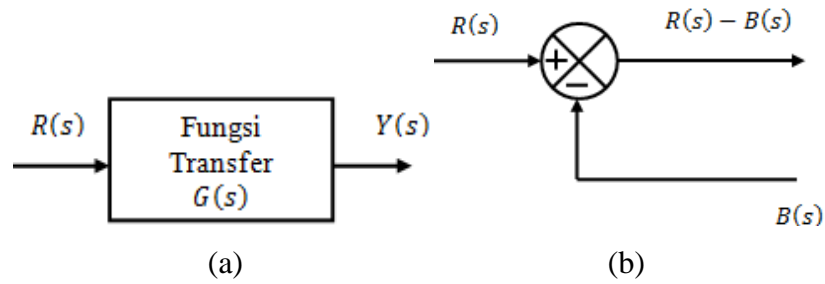
b. Diagram blok

Diagram blok suatu sistem adalah suatu penyajian bergambar dari fungsi yang dilakukan oleh tiap komponen dan aliran sinyalnya (Ogata, 1996: 48-53).

1) Blok

Dalam suatu diagram blok, semua variabel sistem saling dihubungkan dengan menggunakan blok fungsional. Blok fungsional atau biasa disebut blok adalah suatu simbol operasi matematika pada sinyal masukan blok yang menghasilkan keluaran. Fungsi transfer dari komponen biasanya ditulis di dalam blok yang dihubungkan dengan anak panah untuk menunjukkan arah aliran sinyal.

Gambar 3 (a) menunjukkan suatu elemen diagram blok. Anak panah yang menuju ke blok menunjukkan masukan dan anak panah yang meninggalkan blok menyatakan keluaran. Anak panah semacam ini dianggap sebagai sinyal.



Gambar 3. (a) Elemen diagram blok; (b) Titik penjumlahan

2) Titik penjumlahan

Mengacu pada Gambar 3 (b), lingkaran dengan tanda silang menunjukkan simbol operasi penjumlahan. Tanda plus atau minus pada tiap kepala panah menunjukkan apakah sinyal ditambahkan atau dikurangkan. Hal ini penting karena besaran yang dijumlahkan atau dikurangkan harus mempunyai dimensi dan satuan yang sama.

3) Titik cabang

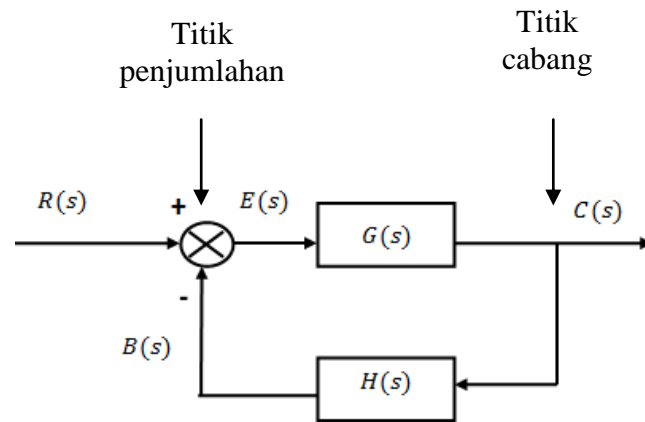
Titik cabang dalam diagram blok adalah titik yang menimbulkan dua sinyal sama yang berperan sebagai *input* blok lain atau titik penjumlahan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

4) Diagram blok *closed loop system*

Gambar 4 menunjukkan suatu contoh diagram blok *closed loop system*. Keluaran $C(s)$ diumpanbalikkan ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan masukan acuan $R(s)$. Sifat *closed loop* dari sistem secara jelas ditunjukkan pada gambar tersebut. Keluaran blok, $C(s)$ dalam hal ini, diperoleh dengan mengalikan fungsi transfer $G(s)$ dengan masukan blok $E(s)$.

$$C(s) = G(s)E(s) \quad (9)$$

Setiap sistem kontrol linier dapat dinyatakan dengan suatu diagram blok yang terdiri dari beberapa blok, titik penjumlahan dan titik cabang.



Gambar 4. Diagram blok *closed loop system*

5) Fungsi transfer lingkaran terbuka dan fungsi transfer umpan-maju

Pada Gambar 4 sinyal umpan balik $B(s)$ yang masuk ke titik penjumlahan untuk dibandingkan dengan sinyal masukan $R(s)$ adalah:

$$B(s) = H(s)C(s) \quad (10)$$

Perbandingan antara sinyal umpan balik $B(s)$ dengan sinyal kesalahan/error $E(s)$ disebut fungsi transfer lingkaran terbuka. Dengan mensubstitusikan persamaan (9) ke persamaan (10) diperoleh:

$$B(s) = H(s)G(s)E(s) \quad (11)$$

Berdasarkan persamaan (11), fungsi transfer lingkaran terbuka dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{B(s)}{E(s)} = G(s)H(s) \quad (12)$$

Rasio keluaran $C(s)$ terhadap sinyal kesalahan yang muncul $E(s)$ disebut fungsi transfer umpan maju, sehingga fungsi transfer umpan maju:

$$\frac{C(s)}{E(s)} = G(s) \quad (13)$$

Fungsi transfer lingkaran terbuka untuk sistem yang ditunjukkan pada Gambar 4, keluaran $C(s)$ dan masukan $R(s)$ dihubungkan sebagai berikut

$$C(s) = G(s)E(s) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} E(s) &= R(s) - B(s) \\ &= R(s) - H(s)C(s) \end{aligned} \quad (15)$$

Dengan substitusi $E(s)$ dari persamaan (15) ke persamaan (14) diperoleh:

$$C(s) = G(s)[R(s) - H(s)C(s)] \quad (16)$$

$$C(s) = G(s)R(s) - G(s)H(s)C(s) \quad (17)$$

Kedua ruas persamaan (17) dibagi dengan $C(s)$ sehingga diperoleh:

$$1 = \frac{G(s)R(s)}{C(s)} - G(s)H(s) \quad (18)$$

$$\frac{G(s)R(s)}{C(s)} = 1 + G(s)H(s) \quad (19)$$

$$\frac{R(s)}{C(s)} = \frac{1 + G(s)H(s)}{G(s)} \quad (20)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (21)$$

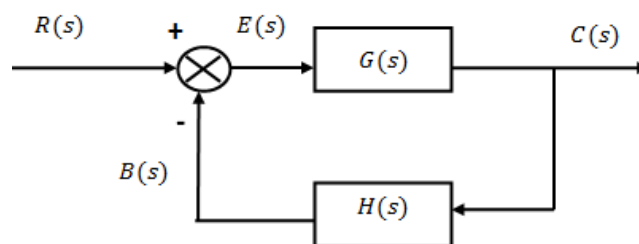
Fungsi transfer yang menghubungkan $C(s)$ dengan $R(s)$ disebut fungsi transfer lingkaran tertutup. Fungsi transfer ini menghubungkan dinamika sistem lingkaran tertutup dengan dinamika elemen umpan maju dan elemen umpan balik. Berdasarkan persamaan (21), $C(s)$ dapat ditulis dalam bentuk:

$$C(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} R(s) \quad (22)$$

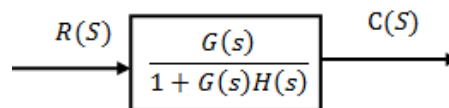
Jadi jelas bahwa keluaran dari sistem lingkaran tertutup tergantung pada fungsi transfer lingkaran terbuka dan masukan aslinya.

6) Reduksi diagram blok

Suatu blok dapat dihubungkan dalam suatu deret hanya bila keluaran dari suatu blok tidak mempengaruhi blok selanjutnya. Apabila terjadi efek pembebanan komponennya, maka perlu digabungkan komponen-komponen tersebut dalam suatu blok. Ada beberapa aturan menyederhanakan diagram blok yang salah satu diantaranya diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Diagram blok awal



Gambar 6. Diagram blok ekuivalen

B. Proses Pengeringan dan Perpindahan Panas

1. Proses Pengeringan

Menurut Taib dalam Risharyanto (2004: 13), pengeringan adalah suatu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi

panas. Tujuan pengeringan adalah mengurangi kadar air bahan yang dikeringkan sampai batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau terhenti, sehingga bahan yang dikeringkan mempunyai waktu simpan yang lama.

Mekanisme penguapan air dalam bahan terjadi melalui proses perpindahan panas dan massa secara simultan, antara lain (Riska, 2013: 124):

- a. Perpindahan panas secara konveksi dari aliran udara ke permukaan butiran untuk menguapkan air di permukaan butiran.
- b. Perpindahan panas secara konduksi dari permukaan butiran ke dalam butiran.
- c. Perpindahan massa air dari dalam butiran ke permukaan secara difusi atau kapiler.
- d. Perpindahan massa air dari permukaan butiran ke udara pengering.

Proses perpindahan panas terjadi karena suhu gabah lebih rendah dari pada suhu sumber panas yang diberikan. Panas yang diberikan ini akan menaikkan suhu gabah dan menyebabkan tekanan uap air di dalam gabah lebih tinggi daripada tekanan uap air di udara, sehingga terjadi perpindahan uap air dari gabah ke udara yang merupakan perpindahan massa.

Sebelum proses pengeringan, tekanan uap air di dalam gabah berada dalam keseimbangan dengan tekanan uap air di udara sekitar. Pada saat pengeringan dimulai, panas yang dialirkan melalui permukaan gabah akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan sejalan dengan

kenaikan suhu. Pada proses ini terjadi perpindahan massa dari bahan ke udara dalam bentuk uap air dan terjadi pengeringan pada permukaan bahan, setelah itu tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun. Saat kenaikan suhu terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaan, selanjutnya proses penguapan pada permukaan bahan berulang kembali. Setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara di sekitar bahan.

Menurut Taib dalam Risharyanto (2004: 14) semakin tinggi suhu yang digunakan untuk pengeringan, maka semakin cepat laju pengeringan. Akan tetapi pengeringan yang terlalu cepat menyebabkan permukaan bahan terlalu cepat kering, sehingga tidak sebanding dengan kecepatan pergerakan air bahan ke permukaan. Hal ini menyebabkan pengerasan pada permukaan bahan (*case hardening*). Selanjutnya air di dalam bahan tidak dapat lagi menguap karena terhalang.

Menurut Barutama dalam Risharyanto (2004: 14) pada proses pengeringan gabah yang baik, suhu permukaan akan naik perlahan dari suhu lingkungan 30 °C hingga 45 °C. Proses penguapan awalnya terjadi pada air yang terdapat di permukaan gabah. Pemanasan pada gabah yang meningkat hingga 45 °C mampu menguapkan air yang terdapat di bagian dalam gabah secara perlahan.

Dalam proses pengeringan, pengadukan gabah adalah salah satu proses yang cukup penting dilakukan. Pengadukan adalah operasi yang menciptakan terjadinya gerakan di dalam bahan yang diaduk. Tujuan operasi

pengadukan yang utama adalah terjadinya pencampuran. Pencampuran merupakan operasi yang bertujuan mengurangi ketidaksamaan kondisi, suhu, atau sifat lain yang terdapat dalam suatu bahan. Pencampuran dapat terjadi dengan cara menimbulkan gerak di dalam bahan yang menyebabkan bagian-bagian bahan saling bergerak satu terhadap yang lainnya. Pengadukan tidak hanya menentukan keseragaman bahan, tetapi juga mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi.

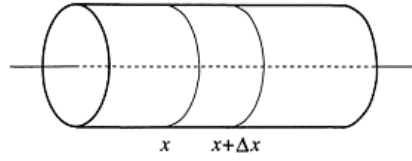
Perpindahan kalor/panas ialah proses yang dapat meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material (Holman, 1991: 1). Salah satu cara panas berpindah adalah konduksi. Untuk dapat memahami konsep perpindahan panas diperlukan pengetahuan tentang persamaan differensial biasa maupun parsial. Persamaan differensial parsial yang digunakan dikenal dengan persamaan difusi atau aliran panas. Persamaan difusi panas secara umum dapat ditulis sebagai berikut (Boas, 2006: 619):

$$\nabla^2 u = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (23)$$

dengan u adalah suhu sebagai fungsi ruang dan waktu, α adalah konstanta diffusivitas bahan.

2. Penurunan Persamaan Panas

Untuk menurunkan persamaan panas, ditinjau sebuah batang homogen yang mengkonduksi panas dari $x = 0$ sampai $x = l$ seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Konduksi panas pada batang

Batang yang mempunyai luas penampang A dan massa jenis ρ diasumsikan hanya mengalirkan panas ke arah sumbu x dan karena batang sangat kecil, suhu untuk setiap titik pada penampang batang yang dilewati panas akan bernilai sama. Misal $u(x, t)$ merupakan suhu pada titik x dan waktu t , dan c panas jenis batang. Jumlah panas pada batang antara penampang x dan penampang $x + \Delta x$ adalah:

$$Q(t) = \int_x^{x+\Delta x} c\rho Au(h, t)dh \quad (24)$$

Disisi lain, kecepatan aliran panas melewati penampang di x berbanding lurus dengan luas penampang dan gradien suhu (*Fourier's law of heat conduction*):

$$q_x = -kA \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \quad (25)$$

dengan k adalah konduktivitas panas batang. Tanda negatif mengindikasikan bahwa panas mengalir ke arah penurunan suhu. Dengan cara yang sama, kecepatan aliran panas pada penampang di $x + \Delta x$ sama dengan

$$q_{x+\Delta x} = -kA \frac{\partial u(x + \Delta x, t)}{\partial x} \quad (26)$$

Dengan mengurangkan persamaan (25) dan (26) serta menurunkan persamaan (24) terhadap waktu, maka diperoleh:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \int_x^{x+\Delta x} c\rho A \frac{\partial u(h, t)}{\partial t} dh = kA \left[\frac{\partial u(x + \Delta x, t)}{\partial x} - \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right] \quad (27)$$

dengan $\frac{\partial Q}{\partial t}$ menyatakan laju penyimpanan panas pada elemen volume $A\Delta x$.

Persamaan (27) dapat diartikan bahwa laju penyimpanan panas tergantung pada panas yang masuk pada penampang di x dan panas yang keluar dari penampang di $(x + \Delta x)$. Apabila panas yang keluar dari $(x + \Delta x)$ sama besar dengan panas yang masuk pada penampang di x , maka tidak ada panas yang tersimpan dalam elemen volume $A\Delta x$.

Dengan mengasumsikan bahwa integral pada persamaan (27) adalah fungsi kontinu dari x , maka dengan teorema rata-rata untuk integral, diperoleh

$$\int_x^{x+\Delta x} \frac{\partial u(h, t)}{\partial t} dh = \frac{\partial u(\xi, t)}{\partial t} \Delta x, \quad x < \xi < x + \Delta x \quad (28)$$

sehingga persamaan (27) menjadi

$$c\rho\Delta x \frac{\partial u(\xi, t)}{\partial t} = k \left[\frac{\partial u(x + \Delta x, t)}{\partial x} - \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \right] \quad (29)$$

Dengan membagi kedua ruas persamaan (29) dengan $c\rho\Delta x$ dan mengambil limit $\Delta x \rightarrow 0$, diperoleh:

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} = \alpha^2 \frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \quad (30)$$

dengan $\alpha^2 = \frac{k}{\rho c}$. Persamaan (30) disebut persamaan panas satu dimensi.

Jika sebuah sumber menyuplai panas ke batang sebesar $f(x, t)$ per satuan volume per satuan waktu, pada penurunan persamaan (27) harus ditambahkan $\int_x^{x+\Delta x} f(h, t) dh$. Kemudian dengan mengambil limit $\Delta x \rightarrow 0$, diperoleh:

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} - \alpha^2 \left(\frac{\partial^2 u(x, t)}{\partial x^2} \right) = f(x, t) \quad (31)$$

Persamaan (31) disebut persamaan panas nonhomogen (Duffy, 2003: 645-647).

3. Syarat Awal dan Syarat Batas

Pada kasus konduksi panas pada batang tipis, jika pada batang tersebut tidak ada sumber panas, sebuah fungsi $f(x)$, $0 < x < l$ mendeskripsikan distribusi suhu dalam batang saat $t = 0$, dan kedua ujung batang selalu bersuhu nol, maka persamaan differensial parsialnya adalah:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \alpha^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad 0 < x < l, \quad t > 0 \quad (32)$$

Persamaan (32) mendeskripsikan distribusi suhu $u(x, t)$ dalam batang saat $t > 0$ dengan kondisi

$$u(x, 0) = f(x), \quad 0 < x < l \quad (33)$$

dan

$$u(0, t) = u(l, t) = 0, \quad t > 0 \quad (34)$$

Persamaan (34) adalah syarat batas, sementara persamaan (33) adalah syarat awal.

Syarat batas diklasifikasikan menjadi tiga. Syarat yang pertama adalah *Dirichlet problem* atau *condition of the first kind*. Tipe syarat batas ini memberikan nilai solusi di tapal batas. Contoh tipe ini adalah persamaan (34).

Syarat batas yang kedua adalah *Neumann problem* atau *condition of the second kind*. Tipe syarat batas ini memberikan nilai derivatif normal di tapal batas. Kondisi ini membuat panas tidak bisa mengalir pada ujung

batang. Berdasarkan persamaan (25) maka syarat batas untuk *Neumann problem* menjadi

$$\frac{\partial u(0, t)}{\partial x} = \frac{\partial u(l, t)}{\partial x} = 0, \quad t > 0 \quad (35)$$

Jika ada radiasi panas dari ujung batang ke medium di sekitar batang, maka syarat batas harus dalam bentuk

$$\frac{\partial u(0, t)}{\partial x} - ju(0, t) = \text{konstanta} \quad (36)$$

dan

$$\frac{\partial u(l, t)}{\partial x} + ju(l, t) = \text{konstanta lain} \quad (37)$$

untuk $t > 0$, dengan j adalah konstanta positif. Syarat batas tersebut adalah contoh *condition of the third kind* atau *Robin problem* dan merupakan kombinasi syarat batas Dirichlet dan Neumann (Duffy, 2003: 647-648).

4. Pemisahan Variabel

Penyelesaian yang paling umum dan banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan difusi adalah dengan menggunakan teknik pemisahan variabel. Proses seperti ini tergantung pada koordinat ruang yang digunakan. Pada contoh berikut akan ditentukan solusi persamaan difusi panas pada koordinat silinder dengan menggunakan teknik separasi variabel. Ditinjau sebuah silinder dengan jari-jari b , tinggi silinder l dan suhu di dasar silinder $T^\circ\text{C}$. Persamaan difusi panas koordinat silinder dirumuskan oleh persamaan (38) sebagai berikut (Hahn, 2012: 15):

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{g_0}{k} \quad (38)$$

dengan g_0 adalah aliran panas per satuan waktu per satuan volume dan k adalah konduktivitas panas.

Pada kasus ini, tujuan utamanya adalah menentukan $u(r, \phi, z, t)$ dari persamaan (38). Karena persamaan panas tersebut tidak bisa dipisahkan secara langsung, maka $u(r, \phi, z, t)$ diasumsikan seperti pada persamaan (39) di bawah ini:

$$u(r, \phi, z, t) = v(r, \phi, z, t) + w(r, \phi, z) \quad (39)$$

dengan $v(r, \phi, z, t)$ adalah solusi *transient* dan $w(r, \phi, z)$ adalah solusi *steady state*.

a. Solusi *transient*

Untuk solusi *transient*, persamaan (38) dapat dirumuskan menjadi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial v}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (40)$$

Solusi *transient* diasumsikan berbentuk seperti pada persamaan (41)

$$v = R(r)\Phi(\phi)Z(z)\theta(t) \quad (41)$$

Substitusi persamaan (41) ke persamaan (40) menghasilkan

$$\Phi Z \theta \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + R Z \theta \frac{1}{r^2} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} + R \Phi \theta \frac{d^2 Z}{dz^2} = R \Phi Z \frac{1}{\alpha^2} \frac{d\theta}{dt} \quad (42)$$

Persamaan (42) dibagi dengan $R\Phi Z\theta$ sehingga dihasilkan persamaan (43)

$$\frac{1}{R} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + \frac{1}{\Phi} \frac{1}{r^2} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} + \frac{1}{Z} \frac{d^2 Z}{dz^2} = \frac{1}{\theta} \frac{1}{\alpha^2} \frac{d\theta}{dt} \quad (43)$$

Jika ditinjau ruas kanan pada persamaan (43), fungsi tersebut hanya terdiri dari satu variabel yaitu t sehingga bisa disamadengankan konstanta,

$$\frac{1}{\theta} \frac{1}{\alpha^2} \frac{d\theta}{dt} = -o^2 \quad (44)$$

dengan o adalah konstanta. Konstanta bernilai negatif karena saat t semakin bertambah, suhu akan terus turun mendekati nol. Jika dipilih konstanta positif, maka akan membuat suhu terus naik menuju tak terhingga saat t bertambah. Solusi persamaan (44) adalah persamaan (45)

$$\theta(t) \sim e^{-o^2 \alpha^2 t} \quad (45)$$

Ditinjau suku ketiga di ruas kiri persamaan (43). Suku tersebut hanya terdiri dari satu variabel yaitu z , sehingga dapat disamadengankan konstanta.

$$\frac{1}{Z} \frac{d^2 Z}{dz^2} = \text{konstanta} = -\beta^2 \quad (46)$$

Tanda negatif pada konstanta karena panjang z berhingga. Jika konstanta diberi tanda positif, solusi fungsi akan berupa eksponensial dan digunakan untuk z yang sangat panjang atau tak terhingga. Solusi persamaan (46) adalah:

$$Z(z) = A \cos \beta z + B \sin \beta z \quad (47)$$

Sesuai dengan syarat batas saat $z = 0$, Z harus bernilai T

$$Z(0) = A \cos 0 + B \sin 0$$

$$Z(0) = A = T$$

Saat $z = l$, Z harus bernilai 0

$$Z(l) = A \cos \beta l + B \sin \beta l$$

Karena $A = T$ maka $\cos \beta l$ harus sama dengan nol. Sedangkan B harus nol karena $\sin \beta l \neq 0$. Syarat tersebut mengharuskan $\beta_n l = \left(n + \frac{1}{2}\right) \pi$ dimana $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ dst. Akibat penerapan syarat batas, maka solusi persamaan (47) adalah:

$$Z(z) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos \left(\frac{(n + 1/2)\pi}{l} z \right) \quad (48)$$

Sesuai dengan solusi pada persamaan (44) dan persamaan (46), dengan demikian persamaan (43) dapat diubah menjadi persamaan (49)

$$\frac{1}{R} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + \frac{1}{\Phi} \frac{1}{r^2} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} - \beta^2 = -o^2 \quad (49)$$

Mengalikan kedua ruas persamaan (49) dengan r^2 menghasilkan

$$\frac{r}{R} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + \frac{1}{\Phi} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} - \beta^2 r^2 = -o^2 r^2 \quad (50)$$

Pada persamaan (50), suku kedua pada ruas kiri hanya berupa fungsi ϕ sehingga dapat disamadengankan konstanta.

$$\frac{1}{\Phi} \frac{d^2 \Phi}{d\phi^2} = -n^2 \quad (51)$$

Persamaan (51) harus sama dengan $-n^2$ sebagai konstanta separasi dengan n merupakan bilangan bulat. Hal itu karena formula matematika untuk suhu pada satu titik harus sama dengan suhu di ϕ atau $\phi + m2\pi$, dengan m bilangan bulat, maka fungsi harus berupa fungsi periodik dalam ϕ dengan periode 2π . Solusi Φ harus dalam bentuk sinus atau cosinus dengan konstanta n adalah bilangan bulat (Boas, 2006: 396). Jika sudut ϕ diputar pada sudut berapapun suhunya selalu konstan, sehingga solusinya tidak bergantung pada sudut ϕ . Jadi dapat dipilih $n = 0$. Solusi persamaan (51) adalah:

$$\Phi(\phi) = D_1 \cos n\phi + D_2 \sin n\phi \quad \text{dengan } n = 0 \quad (52)$$

sehingga,

$$\Phi(\phi) = D_1 \quad (53)$$

Persamaan (50) menjadi

$$\frac{r}{R} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) - n^2 - \beta^2 r^2 = -o^2 r^2 \quad (54)$$

Karena $n = 0$ maka

$$\frac{r}{R} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) - \beta^2 r^2 = -o^2 r^2 \quad (55)$$

Kedua ruas persamaan (55) dibagi dengan r^2

$$\frac{1}{R} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) - \beta^2 = -o^2 \quad (56)$$

atau

$$\frac{1}{R} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) = -K^2 \quad (57)$$

dimana $K^2 = o^2 - \beta^2$. Ruas kiri pada persamaan (57) hanya fungsi r sehingga dapat disamadengankan konstanta. Persamaan (57) merupakan persamaan Bessel. Bentuk umum persamaan Bessel adalah:

$$x(xy')' + (K^2 x^2 - p^2)y = 0 \quad (58)$$

dengan solusi $y = J_p(Kx)$ (Boas, 2006: 594). Persamaan (57) dapat diubah dalam bentuk persamaan (59).

Bentuk umum persamaan Bessel: $x(xy')' + (K^2 x^2 - p^2)y = 0$

dimana

$$x \rightarrow r$$

$$y \rightarrow R$$

Substitusi r dan R ke persamaan Bessel:

$$\begin{aligned} r \left(r \frac{dR}{dr} \right)' + (K^2 r^2 - 0^2)R &= 0 \\ r \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + (K^2 r^2 - 0)R &= 0 \end{aligned} \quad (59)$$

dengan solusi

$$R(r) = J_0(Kr) \quad (60)$$

Dengan memasukkan syarat batas $R(r) = 0$ saat $r = b$ (untuk sembarang ϕ dan z), maka persamaan (60) menjadi $J_0(Kb) = 0$, dengan Kb adalah akar - akar J_0 . Jika didefinisikan $k = Kb$ atau $K = k/b$ maka

$$R(r) = J_0\left(\frac{kr}{b}\right) \quad (61)$$

Nilai-nilai yang mungkin untuk k adalah k_m untuk $m = 1, 2, 3 \dots$ dst.

Berdasarkan persamaan (57) maka persamaan (56) dapat diubah menjadi:

$$-K^2 - \beta^2 = -o^2 \quad (62)$$

Substitusi $K = k/b$ dan $\beta = \frac{(n+1/2)\pi}{l}$ ke persamaan (62) menghasilkan

$$o^2 = \left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2 \quad (63)$$

sehingga persamaan (45) menjadi

$$\theta(t) \sim e^{-\alpha^2 \left(\left(\frac{k}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2 \right) t} \quad (64)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (48), (60) dan (63) ke persamaan (41), maka diperoleh:

$$\begin{aligned} &v(r, z, t) \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} C_{mn} J_0\left(\frac{k_m r}{b}\right) \cos\left(\frac{(n+\frac{1}{2})\pi}{l} z\right) e^{-\alpha^2 \left(\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+\frac{1}{2})\pi}{l}\right)^2 \right) t} \end{aligned} \quad (65)$$

Koefisien C_{mn} dicari dengan mengalikan kedua ruas persamaan (65) pada saat $t = 0$ dengan persamaan (66) (Boas, 2006: 641):

$$rJ_0\left(\frac{k_m r}{b}\right) \cos\left(\frac{(n+1/2)\pi z}{l}\right) \quad (66)$$

Pada saat $t = 0$ persamaan (65) menjadi

$$v(r, z, 0) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} C_{mn} J_0\left(\frac{k_m r}{b}\right) \cos\left(\frac{(n+1/2)\pi}{l} z\right) \quad (67)$$

Mengalikan persamaan (67) dengan persamaan (66) dan mengintegalkan dari 0 sampai l untuk z dan dari 0 sampai b untuk r , serta mengingat pada saat $t = 0$ $v(r, z) = T$, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \int_0^b \int_0^l v(r, z) J_0\left(\frac{k_m r}{b}\right) \cos\left(\frac{(n+1/2)\pi z}{l}\right) r dr dz \\ &= C_{mn} \int_0^b \int_0^l J_0^2\left(\frac{k_m r}{b}\right) \cos^2\left(\frac{(n+1/2)\pi z}{l}\right) r dr dz \\ C_{mn} &= \frac{v(r, z) \int_0^b \int_0^l J_0\left(\frac{k_m r}{b}\right) \cos\left(\frac{(n+1/2)\pi z}{l}\right) r dr dz}{\int_0^b \int_0^l J_0^2\left(\frac{k_m r}{b}\right) \cos^2\left(\frac{(n+1/2)\pi z}{l}\right) r dr dz} \quad (68) \end{aligned}$$

dimana

$$\begin{aligned} \int_0^l \cos\frac{(n+1/2)\pi z}{l} dz &= \frac{l}{(n+1/2)\pi} \sin\frac{(n+1/2)\pi z}{l} \Big|_0^l \\ &= \frac{l}{(n+1/2)\pi} \sin(n+1/2)\pi \end{aligned}$$

$$\int_0^l \cos^2\frac{(n+1/2)\pi z}{l} dz = \frac{z}{2} + \frac{\sin 2\left(\frac{(n+1/2)\pi z}{l}\right)}{4\left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)} \Big|_0^l = \frac{l}{2}$$

$$\int_0^b r J_0\left(\frac{k_m r}{b}\right) dr = \frac{b}{k_m} r J_1\left(\frac{k_m r}{b}\right) \Big|_0^b = \frac{b^2}{k_m} J_1(k_m)$$

$$\int_0^b r J_0^2\left(\frac{k_m r}{b}\right) dr = \frac{b}{2} r J_1^2\left(\frac{k_m r}{b}\right) \Big|_0^b = \frac{b^2}{2} J_1^2(k_m)$$

sehingga diperoleh

$$C_{mn} = \frac{v(r, z) \frac{l}{(n+1/2)\pi} \sin(n + 1/2)\pi \frac{b^2}{k_m} J_1(k_m)}{\frac{l b^2}{2} J_1^2(k_m)}$$

dan dapat disederhanakan menjadi:

$$C_{mn} = \frac{4T \sin(n + 1/2)\pi}{(n + 1/2)\pi k_m J_1(k_m)} \quad (69)$$

Substitusi persamaan (69) ke persamaan (65), membuat solusi *transient* persamaan panas menjadi

$$V(r, z, t) = \frac{4T}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{k_m J_1(k_m) (n + 1/2)} J_0\left(\frac{k_m}{b} r\right) \cos\left(\frac{(n + 1/2)\pi}{l} z\right) e^{-\alpha^2 \left(\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2 \right) t} \quad (70)$$

b. *Steady state*

Tinjau solusi *steady state*. Pada pembahasan sebelumnya, solusi dari persamaan tidak tergantung pada sudut ϕ sehingga persamaan (38) dapat dirumuskan menjadi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = -\frac{g_0}{k} \quad (71)$$

dengan mengasumsikan solusi *steady state* berbentuk

$$w = R(r)Z(z). \quad (72)$$

Persamaan (71) merupakan persamaan Poisson. Bentuk umum persamaan Poisson koordinat silinder dua dimensi adalah:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = w(r, z) \quad (73)$$

Untuk memperoleh solusi $w(r, z)$, terlebih dahulu menyelesaikan persamaan differensial berikut

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = \lambda w \quad (74)$$

dengan $w = R(r)Z(z)$. Kemudian mensubstitusikan persamaan (72) ke persamaan (74) dan membagi kedua ruas dengan RZ maka diperoleh

$$\frac{1}{R} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) + \frac{1}{Z} \frac{d^2 Z}{dz^2} = \lambda \frac{w}{R(r)Z(z)} \quad (75)$$

Tinjau suku pertama dan ke dua ruas kiri persamaan (75), masing-masing suku tersebut hanya terdiri dari satu variabel yaitu r dan z sehingga kedua suku tersebut dapat disamadengankan konstanta.

$$\frac{1}{Z} \frac{d^2 Z}{dz^2} = -p^2 \quad (76)$$

Solusi persamaan (76) adalah

$$Z(z) = A_1 \cos pz + B_1 \sin pz \quad (77)$$

Dengan menerapkan syarat batas $Z(0) = T$ dan $Z(l) = 0$ maka diperoleh:

$$p = \frac{(n + 1/2)\pi}{l}$$

untuk $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ dst. Akibat penerapan syarat batas tersebut, maka solusi untuk persamaan (77) adalah:

$$Z(z) = \sum_{n=0}^{\infty} A_{1n} \cos \frac{(n + 1/2)\pi}{l} z \quad (78)$$

Tinjau suku pertama ruas kiri persamaan (75)

$$\frac{1}{R} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dR}{dr} \right) = -K^2 \quad (79)$$

Akibat syarat batas $R(0) = T$ dan $R(b) = 0$, maka solusi ruas kiri pada persamaan (79) adalah

$$R(r) = J_0(Kr)$$

dengan $K = \frac{k_m}{b}$. k_m merupakan akar-akar fungsi Bessel.

$$R(r) = J_0\left(\frac{k_m}{b}r\right) \quad (80)$$

Berdasarkan persamaan (76) dan persamaan (79) maka persamaan (75) menjadi:

$$-K^2 - p^2 = \lambda \quad (81)$$

dengan $K = \frac{k_m}{b}$ dan $p = \frac{(n+1/2)\pi}{l}$, maka

$$\lambda = -\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 - \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2 \quad (82)$$

Hubungan persamaan (71) dan (72) adalah:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial w}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = \lambda w = C_{mn} J_0\left(\frac{k_m}{b}r\right) \cos \frac{(n+1/2)\pi}{l} z \quad (83)$$

$$w(r, z) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{C_{mn}}{\lambda} J_0\left(\frac{k_m}{b}r\right) \cos \frac{(n+1/2)\pi}{l} z \quad (84)$$

dengan

$$C_{mn} = \frac{w(r, z) \int_0^l \int_0^b r J_0\left(\frac{k_m}{b}r\right) \cos \frac{(n+1/2)\pi}{l} z \, dr \, dz}{\int_0^l \int_0^b r J_0^2\left(\frac{k_m}{b}r\right) \cos^2 \frac{(n+1/2)\pi}{l} z \, dr \, dz}$$

$$C_{mn} = -\frac{4g_0 \sin(n+1/2)\pi}{k(n+1/2)\pi k_m J_1(k_m)} \quad (85)$$

Mensubstitusikan persamaan (82) dan (85) ke persamaan (84) sehingga diperoleh solusi akhir *steady-state* persamaan panas adalah:

$$w(r, z) = \frac{4g_0}{k\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{k_m J_1(k_m) \left(n + \frac{1}{2}\right)} \frac{J_0\left(\frac{k_m}{b} r\right) \cos\left(\frac{(n+\frac{1}{2})\pi}{l} z\right)}{\left[\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+\frac{1}{2})\pi}{l}\right)^2\right]} \quad (86)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (70) dan (86), maka solusi lengkap persamaan panas adalah:

$$\begin{aligned} u(r, z, t) &= w(r, z) + v(r, z, t) \\ u(r, z, t) &= \frac{4g_0}{k\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{k_m J_1(k_m) \left(n + \frac{1}{2}\right)} \frac{J_0\left(\frac{k_m}{b} r\right) \cos\left(\frac{(n+1/2)\pi}{l} z\right)}{\left[\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2\right]} \\ &\quad + \frac{4T}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{k_m J_1(k_m) (n + 1/2)} J_0\left(\frac{k_m}{b} r\right) \cos\left(\frac{(n + 1/2)\pi}{l} z\right) \\ &\quad e^{-a^2 \left(\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2\right) t} \end{aligned} \quad (87)$$

5. Kapasitas Panas dan Panas Jenis

Bila energi panas ditambahkan pada suatu zat, maka temperatur zat itu biasanya naik. Jumlah energi panas Q yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu zat adalah sebanding dengan perubahan temperatur dan massa zat itu:

$$Q = C \Delta T = mc \Delta T \quad (88)$$

dengan C adalah kapasitas panas zat, yang didefinisikan sebagai energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu zat sebesar satu derajat.

Panas jenis c adalah kapasitas panas per satuan massa:

$$c = \frac{C}{m} \quad (89)$$

Panas jenis air (1 kkal/kg K) jauh lebih besar dari pada panas jenis zat lain. Karena kapasitas panasnya yang sangat besar, air adalah bahan yang baik sekali untuk menyerap panas. Air juga merupakan pendingin yang baik.

Karena panas jenis air praktis konstan meliputi jangkauan temperatur yang lebar, panas jenis sebuah benda dengan mudah dapat diukur dengan memanaskan benda sampai suatu temperatur tertentu yang mudah diukur, dengan menempatkannya dalam bejana air yang massa dan temperaturnya diketahui dan dengan mengukur temperatur kesetimbangan akhir. Jika seluruh sistem terisolasi dari sekitarnya, maka panas yang keluar dari benda sama dengan panas yang masuk ke air dan wadahnya. Prosedur ini dinamakan kalorimetri, dan wadah air yang terisolasi dinamakan kalorimeter. Persamaan penentuan panas jenis ditunjukkan oleh persamaan (91).

$$Q_a = Q_b \quad (90)$$

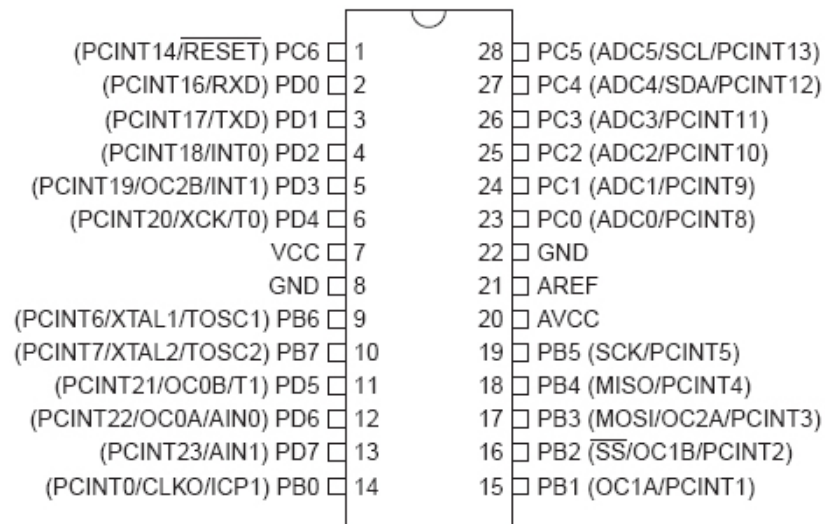
$$m_a c_a (T_f - T_{ia}) = m_b c_b (T_f - T_{ib})$$

$$c_b = \frac{m_a c_a (T_f - T_{ia})}{m_b (T_{ib} - T_f)} \quad (91)$$

dengan Q_a adalah panas pada air, Q_b adalah panas zat yang diukur panas jenisnya, c_b adalah panas jenis zat yang diukur, m_a adalah massa air, c_a adalah panas jenis air, T_f adalah temperatur akhir campuran, T_{ia} adalah temperatur awal air, m_b adalah massa zat yang diukur panas jenisnya dan T_{ib} adalah temperatur awal zat yang diukur panas jenisnya (Tipler, 1998 : 598-601).

C. Mikrokontroler ATMEGA8

ATMEGA 8 adalah mikrokontroler 8 bit yang dapat mengeksekusi suatu perintah atau instruksi dalam satu periode clock. Beberapa fitur yang dimiliki ATMEGA 8 adalah 8 *Kbyte memory flash*; jumlah PIN 32; *Max. Operating Freq.* 20 MHz; CPU: 8-bit AVR; *Max I/O Pins*: 23; *ADC channels*: 6; *ADC Resolution (bits)*: 10; Suhu kerja -40°C sampai 85°C. Konfigurasi pin ATMEGA 8 dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Konfigurasi Pin ATMEGA8 (*Atmel Datasheet: 2*)

ATMEGA 8 memiliki 32 pin yang masing-masing pinnya memiliki fungsi yang berbeda-beda. ATMEGA 8 memiliki 3 buah *PORT* utama yaitu *PORT B*, *PORT C*, dan *PORT D*. Berikut akan dijelaskan tentang kegunaan dari masing-masing *PORT* pada ATMEGA 8 (*Atmel Datasheet: 5-6*):

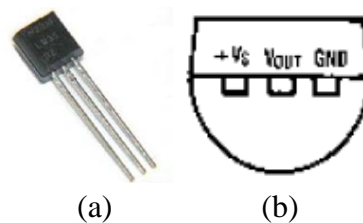
1. *VCC* dan *GND* untuk pencatu daya.
2. *PORT B* (PB0 – PB5) sebagai *PORT input/output* dan juga pengisian program pada Mikrokontroler AVR.

3. *PORT C* (PC0 – PC6) sebagai *PORT input/output* untuk ATMEGA 8 dan *PORT ADC*.
4. *PORT D* (PD0 – PD7) sebagai *PORT input/output*

D. Sensor Suhu LM 35DZ

LM 35DZ merupakan salah satu jenis sensor suhu yang mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan. IC LM 35DZ sebagai sensor suhu yang teliti dan terkemas dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC), dimana *output* tegangan keluaran sangat linier sebanding dengan perubahan suhu. Sensor ini berfungsi sebagai pengubah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki gradien perubahan sebesar $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$, yang berarti bahwa pada setiap kenaikan suhu sebesar 1°C maka akan terjadi kenaikan tegangan sebesar 10 mV .

LM 35DZ mempunyai 3 buah pin. Pin 1 sebagai *supply* (V_s), pin 2 sebagai *output* dan pin 3 sebagai *ground* (GND) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. (a) Fisik Sensor LM 35DZ dan (b) Skema pin LM 35DZ
(Fatimah, 2012: 2)

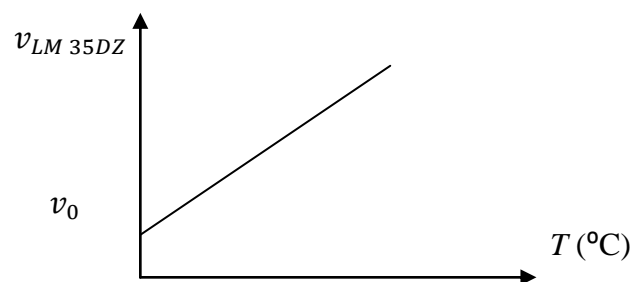
IC LM 35DZ memiliki ketelitian kurang lebih seperempat derajat celcius pada suhu ruang. Range kerja sensor mulai dari -55°C sampai

dengan 150°C. IC LM 35DZ dapat dialiri arus 60 mA dari *supply* sehingga panas yang ditimbulkan sendiri sangat rendah kurang dari 0°C di dalam suhu ruangan.

Karakteristik sensor LM 35DZ

1. Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu 10 mV/°C, sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam skala *celcius*.
2. Memiliki jangkauan maksimal operasi suhu antara -55°C sampai +150 °C.
3. Bekerja pada *supply* tegangan 4 sampai 30 V.
4. Membutuhkan *supply* arus yang rendah yaitu kurang dari 60 µA.
5. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah yaitu < 0,1°C pada udara diam.
6. *Self heating* yang rendah yaitu 0,1 Ω untuk beban 1 mA.

Gambar 10 menunjukkan grafik linearitas tegangan *output* LM 35DZ terhadap perubahan suhu. Dari grafik hubungan tegangan sensor terhadap suhu diperoleh persamaan (92)



Gambar 10. Grafik linearitas suhu LM 35DZ

$$v_{LM 35DZ} = v_0 + x_1 \cdot T \quad (92)$$

dimana x_1 adalah nilai sensitivitas sensor suhu LM 35DZ yaitu $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$, v_0 adalah tegangan mula-mula dan T ($^\circ\text{C}$) adalah suhu. Suhu (T) adalah hasil dari proses pemanasan ruang karena adanya *heater* sebagai sumber pemanas. Semakin lama *heater* dialiri arus, maka semakin tinggi suhu ruang. Jadi diharapkan suhu (T) merupakan fungsi waktu (t). Hubungan antar suhu (T) dan waktu (t) diharapkan linier, sehingga dapat ditulis persamaan (93)

$$T(t) = T_0 + x_2 \cdot t \quad (93)$$

dimana T_0 adalah suhu awal sebelum *heater* dinyalakan. Substitusi persamaan (93) ke persamaan (92) menghasilkan

$$\begin{aligned} v_{LM\ 35DZ} &= v_0 + x_1 \cdot (T_0 + x_2 \cdot t) \\ &= v_0 + x_1 \cdot T_0 + x_1 x_2 \cdot t \end{aligned} \quad (94)$$

sehingga secara eksperimen tegangan LM 35DZ merupakan fungsi waktu.

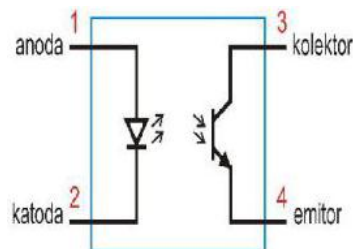
E. Saklar

1. *Optocoupler*

Opto berarti optik dan *coupler* berarti pemicu, sehingga bisa diartikan bahwa *optocoupler* merupakan suatu komponen yang bekerja berdasarkan picu cahaya optik. *Optocoupler* merupakan piranti elektronika yang berfungsi sebagai pemisah antara rangkaian mikrokontroler dengan rangkaian driver. *Optocoupler* merupakan salah satu jenis komponen yang memanfaatkan sinar sebagai pemicu *on / off*-nya. *Optocoupler* terdiri dari dua bagian yaitu (Setiawan, 2007: 14):

- a. Pada bagian *transmitter* terdiri dari sebuah LED infra merah. Jika dibandingkan dengan menggunakan LED biasa, LED inframerah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED inframerah bersifat tidak kasat mata.
- b. Pada bagian *receiver* terdiri dari sebuah *phototransistor*. *Phototransistor* merupakan salah satu jenis transistor yang peka terhadap adanya perubahan cahaya.

Rangkaian dasar sensor *optocoupler* ditunjukkan pada Gambar 11.



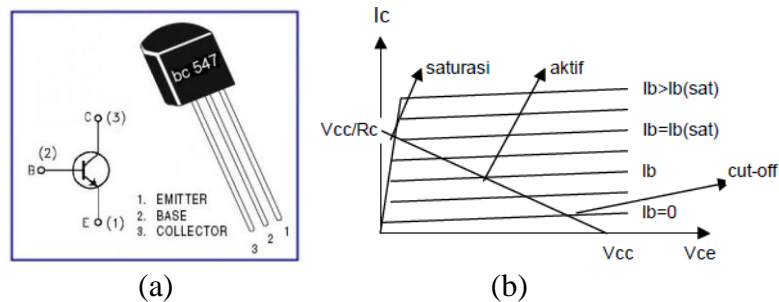
Gambar 11. Rangkaian dasar *optocoupler*
(<http://repository.usu.ac.id/bitstream.pdf>)

Prinsip kerja sensor *optocoupler*

Prinsip kerjanya, ketika LED inframerah memancarkan cahaya, maka cahaya tersebut akan dideteksi oleh *phototransistor* dan menyebabkan terminal kolektor dan emitor pada *phototransistor* terhubung singkat sehingga *output* dari *phototransistor* akan berlogika *low*. Sedangkan ketika LED inframerah tidak memancarkan cahaya, maka hubungan kolektor emitor pada *phototransistor* terputus sehingga *output* dari *phototransistor* akan berlogika *high*.

2. Transistor

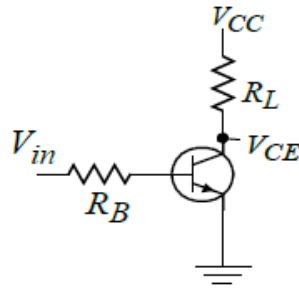
Menurut Malvino (1994), transistor adalah sebuah komponen aktif yang terdiri dari tiga terminal yaitu basis, kolektor dan emiter seperti ditunjukkan pada Gambar 12 (a). Transistor akan bekerja apabila terdapat arus yang mengalir pada basis, artinya bila basis diberi tegangan, maka transistor akan melewatkan arus dari kolektor ke emiter. Jika tegangan basis dinaikkan maka akan tercapai kondisi saturasi (jenuh) dan sebaliknya bila basis diberi tegangan negatif maka transistor akan *cut-off*. Transistor memiliki tiga daerah kerja, yaitu daerah aktif, daerah saturasi dan daerah *cut-off*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 (b).



Gambar 12. (a) Transistor BC547 ; (b) Kurva karakteristik dan daerah kerja transistor (Setiawan, 2007: 12)

Prinsip kerja transistor sebagai saklar

Prinsip kerja transistor sebagai saklar yaitu dengan mengoperasikannya pada dua keadaan ekstrim, yaitu dalam keadaan kerja penuh (saturasi) dan keadaan tidak bekerja sama sekali (*cut-off*). Perubahan dari keadaan satu ke keadaan yang lainnya dapat berupa perubahan tegangan maupun perubahan arus.



Gambar 13. Transistor sebagai saklar (Setiawan, 2007: 13)

Gambar 13 menunjukkan bagaimana suatu transistor dioperasikan sebagai saklar. Dalam keadaan $V_{in} = 0$ dan $I_B = 0$ yang berarti tidak ada sinyal masukan, maka transistor akan berada dalam kondisi *cutt-off*. Pada keadaan ini tidak ada arus yang mengalir melalui beban R_L . Kondisi seperti ini dapat disamakan dengan sebuah saklar yang sedang terbuka karena tegangan antara kolektor dengan emitor besarnya mendekati V_{CC} . Karena I_C mendekati nol, maka jatuh tegangan pada R_L dapat diabaikan.

Jika V_{in} cukup besar sehingga I_B juga cukup besar, maka transistor akan berubah dari keadaan *cut-off* menuju keadaan saturasi. Keadaan saturasi adalah keadaan dimana arus I_C mencapai keadaan maksimum sehingga kenaikan I_B tidak lagi menyebabkan kenaikan I_C . Kondisi seperti ini dapat disamakan dengan sebuah saklar yang sedang tertutup (*ON*). Arus yang mengalir pada keadaan ini pada beban R_L adalah:

$$I_{R_L} = I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE(sat)}}{R_L} \quad (95)$$

Karena $V_{CE(sat)} \cong 0$, maka I_{R_L} dapat didekati dengan persamaan:

$$I_{R_L} = I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_L} \quad (96)$$

Tegangan masukan V_{in} yang menyebabkan transistor mencapai keadaan saturasi adalah:

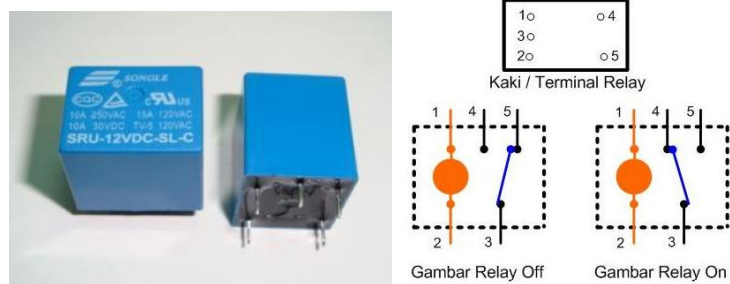
$$V_{in} = I_{B(sat)} R_B + V_{BE} \quad (97)$$

F. *Relay*

Relay adalah saklar elektronik yang dapat membuka atau menutup rangkaian dengan menggunakan kontrol dari rangkaian elektronik lain. Sebuah *relay* tersusun atas kumparan, pegas, saklar (terhubung pada pegas) dan 2 kontak elektronik (*normally close* dan *normally open*).

1. *Normally close* (NC) : saklar terhubung dengan kontak ini saat *relay* tidak aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi terbuka.
2. *Normally open* (NO) : saklar terhubung dengan kontak ini saat *relay* aktif atau dapat dikatakan saklar dalam kondisi tertutup.

Berdasarkan pada prinsip dasar cara kerjanya, *relay* dapat bekerja karena adanya medan magnet yang digunakan untuk menggerakkan saklar. Saat kumparan diberikan tegangan sebesar tegangan kerja *relay* maka akan timbul medan magnet pada kumparan karena adanya arus yang mengalir pada lilitan kawat. Kumparan yang bersifat sebagai elektromagnet ini kemudian akan menarik saklar dari kontak NC ke kontak NO. Jika tegangan pada kumparan dimatikan maka medan magnet pada kumparan akan hilang sehingga pegas akan menarik saklar ke kontak NC. Terminal/kaki pada *relay* dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Terminal/ kaki pada relay
<http://sulihan.blogspot.co.id/2012/05/saklar-sentuh.html>

G. Kerangka Berfikir

Sistem kontrol pengaduk pada penelitian ini bekerja berdasarkan *closed loop control system*. Dikatakan sebagai *closed loop control system* karena pada saat suhu tertentu proses pengadukan gabah akan berhenti dan ketika *set point* terpenuhi yaitu ketika suhu gabah bagian atas dan bawah terjadi beda suhu sebesar 3°C , maka proses pengadukan akan berlangsung kembali. Hal tersebut menunjukkan adanya umpan balik ke sistem untuk menghentikan atau menjalankan proses pengadukan.

Sistem kontrol pengaduk mempunyai masukan berupa *set point* beda suhu gabah bagian atas dan bagian bawah sebesar 3°C dan keluaran berupa proses pengadukan gabah. Pengontrolan pengadukan gabah dilakukan dengan mengetahui suhu gabah bagian atas dan bawah dengan menggunakan 2 sensor suhu LM 35DZ yang dipasang di posisi tertentu di dalam tabung pengering. Dua sensor suhu yang dipasang, akan terus mendeteksi suhu gabah. Ketika terjadi perbedaan suhu sebesar 3°C maka proses pengadukan akan berlangsung dan ketika sudah tidak terjadi perbedaan suhu, maka proses pengadukan akan berhenti.

Sistem kontrol pengaduk terdiri dari beberapa komponen penyusun. Setiap komponen penyusun mempunyai karakteristik masing-masing. Dengan mengetahui karakteristik masing-masing komponen, maka akan mempermudah dalam proses analisis. Karakteristik masing-masing komponen dijelaskan dengan cara kerja juga dengan pemodelan yang berwujud gambar dan persamaan matematis. Pemodelan yang berwujud gambar disebut dengan diagram blok dan pemodelan yang berwujud persamaan matematis adalah analisis fungsi transfer. Pemodelan dengan diagram blok akan mempermudah dalam pembacaan untuk mengetahui sistem kontrol sistem. Sedangkan pemodelan dengan fungsi transfer, akan menggambarkan perilaku sistem.

Proses yang terjadi di dalam tabung pengering sangatlah kompleks. Untuk dapat menganalisis dan membuat alat pengering gabah dengan baik, perlu difahami fenomena perpindahan panas yang terjadi pada saat proses pengeringan. Proses pengeringan dilakukan dengan pengadukan berkali-kali sehingga tidak hanya permukaan atas yang mengalami proses pengeringan, namun juga pada seluruh bagian yaitu atas dan bawah secara bergantian. Karena adanya pengadukan, maka akan terjadi kontak bahan dengan bahan dan bahan dengan dinding. Karena alat pengering yang digunakan berbentuk silinder, maka analisis persebaran panas secara konduksi dilakukan dengan menggunakan sistem koordinat silinder.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan September 2015 sampai dengan bulan Juli 2016 bertempat di Bengkel Fisika, Laboratorium Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

B. Variabel Penelitian

Variabel Bebas : Suhu gabah bagian atas dan bagian bawah

Variabel Terikat : Kontrol *ON/OFF* pengaduk

Variabel Kontrol : *Set point* beda suhu 3°C

C. Alat dan Bahan Penelitian

1. Gabah
2. Arduino UNO
3. Multimeter digital
4. Termometer
5. CRO (*Cathode Ray Oscilloscope*)
6. Komponen sistem kontrol pengaduk
 - a. Sensor suhu LM 35DZ
 - b. Potensio geser 50 k Ω
 - c. Mikrokontroler ATMEGA 8

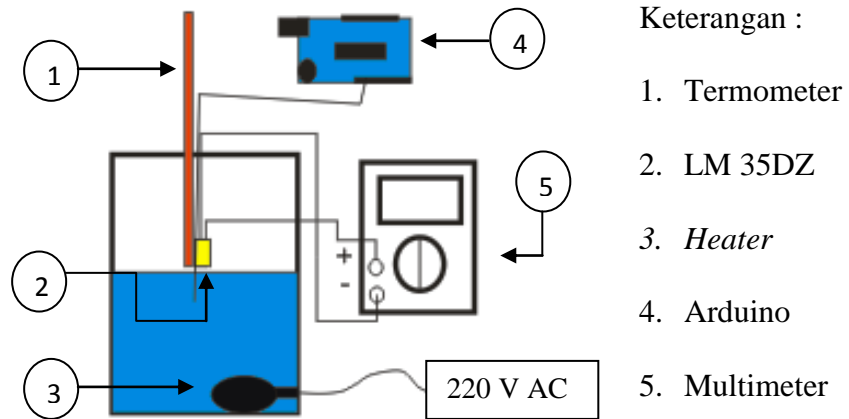
- d. Resistor (1 k Ω , 10 k Ω dan 330 Ω)
- e. *Optocoupler*
- f. Transistor BC547
- g. *Relay* DC 12 V
- h. Diode IN1004
- i. Motor AC 1 fasa ¼ PK 1400 rpm
- j. Pengaduk
- k. LCD 16 x 2
- l. LED merah

D. Langkah Kerja

1. Menguji dan Mengkalibrasi Sensor Suhu LM 35DZ

Pengujian sensor suhu LM 35DZ bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam menanggapi perubahan suhu sistem. Nilai tegangan pada sensor suhu LM 35DZ dikalibrasi dengan termometer sehingga diketahui tegangan sensor pada suhu tertentu. Langkah-langkah pengujian sensor suhu LM 35DZ adalah sebagai berikut :

- a. Merangkai alat seperti pada Gambar 15.
- b. Menyambungkan *heater* dengan sumber tegangan 220 V AC.
- c. Mencatat perubahan suhu yang ditunjukkan oleh termometer setiap kenaikan 1°C dan mencatat tegangan *output* sensor suhu LM 35DZ yang ditampilkan oleh voltmeter.
- d. Mengulangi langkah b-c untuk sensor suhu yang ke-dua



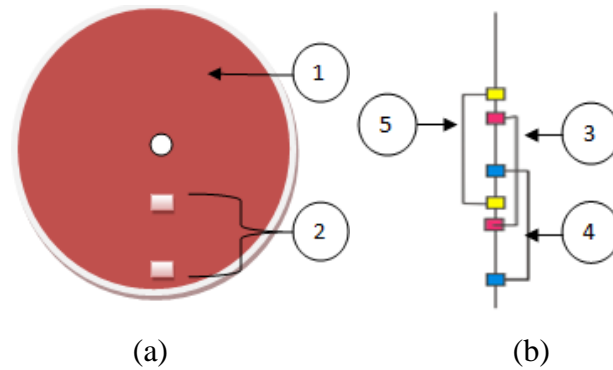
Gambar 15. Set alat kalibrasi sensor suhu LM 35DZ

2. Menguji Penempatan Sensor Suhu LM 35DZ

Pengujian penempatan sensor suhu LM 35DZ dilakukan untuk mengetahui posisi penempatan sensor yang sesuai dengan alat pengering gabah. Posisi yang sesuai adalah posisi dimana sensor suhu LM 35DZ dapat mengukur suhu yang nilainya mewakili pembacaan suhu gabah di semua titik dalam ruangan pengering gabah tanpa dipengaruhi oleh seberapa banyak massa gabah yang dikeringkan. Langkah-langkah pengujian penempatan sensor suhu LM 35DZ adalah :

- a. Tahap pertama, yaitu dengan posisi penempatan sensor tetap dan dilakukan variasi massa gabah :
 - 1) Menempatkan 2 buah sensor suhu LM 35DZ seperti pada Gambar 16 (a) dengan jarak dari dasar tabung 4 cm dan jarak antar sensor 3,5 cm. Jarak penempatan sensor seperti pada Gambar 16 (b) poin ke-3
 - 2) Menjalankan sistem kontrol pengering gabah secara keseluruhan (kontrol suhu dan kontrol pengaduk).
 - 3) Memasukkan gabah 4 kg ke dalam tabung pengering.

- 4) Proses pengambilan data suhu gabah bagian atas dan bawah dilakukan setiap 5 detik sekali selama 1 jam.
 - 5) Menghentikan sistem kontrol pengering setelah waktu pengambilan data tercapai.
 - 6) Mengulangi langkah 2-5 untuk massa gabah 8 kg.
- b. Tahap kedua, yaitu dengan melakukan variasi posisi sensor dan massa gabah dibuat tetap:
- 1) Memasang posisi sensor dengan jarak sensor dari dasar tabung 2 cm dan jarak antara kedua sensor 3,5 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 16 (b) poin ke-4.
 - 2) Menjalankan sistem kontrol pengering gabah.
 - 3) Memasukkan gabah 8 kg ke dalam tabung pengering.
 - 4) Proses pengambilan data dilakukan setiap 5 detik sekali selama 1 jam.
 - 5) Menghentikan sistem kontrol pengering setelah waktu pengambilan data tercapai.
 - 6) Mengulangi langkah 2-5 untuk penempatan sensor pada jarak 4,5 cm dari dasar tabung dan jarak antar sensor 3,5 cm seperti ditunjukkan pada Gambar 16 (b) poin ke-5.



Gambar 16. (a) Salah satu ujung tabung dan (b) Variasi penempatan sensor

Keterangan Gambar 16 :

1. Salah satu ujung tabung.
2. Penempatan sensor suhu di dalam tabung.
3. Posisi penempatan sensor variasi 1 dengan jarak sensor dari dasar tabung 4 cm dan jarak antar sensor 3,5 cm.
4. Posisi penempatan sensor variasi 2 dengan jarak sensor dari dasar tabung 2 cm dan jarak antar sensor 3,5 cm.
5. Posisi penempatan sensor variasi 3 dengan jarak sensor dari dasar tabung 4,5 cm dan jarak antar sensor 3,5 cm.

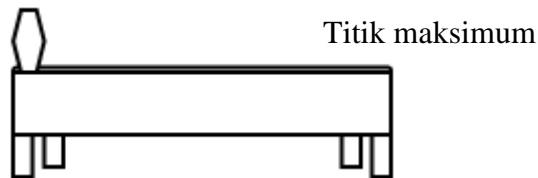
3. Mengkarakterisasi Potensiometer

Potensiometer berperan sebagai pembagi tegangan, yang menghasilkan tegangan referensi berdasarkan jarak pergeseran yang diberikan oleh pengguna. Sebelum digunakan, potensiometer dikarakterisasi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Menghubungkan potensiometer dengan tegangan sumber mikrokontroler.

- b. Mengukur tegangan keluaran potensiometer dengan menggunakan multimeter setiap pergeseran potensiometer 2 cm dari titik minimum hingga maksimum.
- c. Mencatat data antara pergeseran potensiometer ($r(\text{cm})$) dan tegangan ($V(\text{volt})$).
- d. Titik minimum dan maksimum dari potensiometer dapat digambarkan sebagai berikut:

Titik minimum



Gambar 17. Potensiometer geser

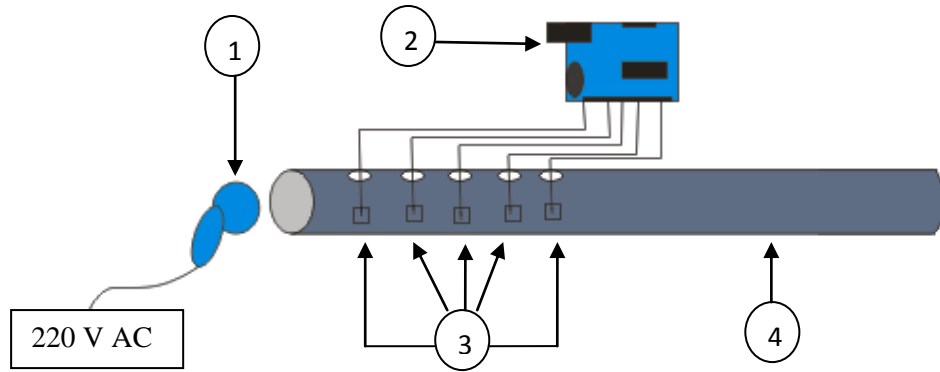
4. Mengukur Konduktivitas Panas Gabah

Pengukuran konduktivitas panas gabah bertujuan untuk mengetahui sifat gabah dan menunjukkan jumlah panas yang mengalir pada satu satuan luas jika terjadi gradien suhu pada gabah, dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Memasukkan gabah ke dalam pipa.
- b. Meletakkan 5 buah sensor suhu LM 35DZ ke dalam pipa pada 5 titik dan setiap titik berjarak 2,5 cm seperti pada Gambar 18.
- c. Menghubungkan *hair dryer* dengan sumber tegangan 220V AC.
- d. Mengukur suhu di 5 titik penempatan sensor setiap 5 detik sekali.

Pada saat pengeringan, gabah mengalami 3 keadaan yaitu dari gabah dalam keadaan basah, gabah dalam keadaan pertengahan (basah menuju kering) dan

akhirnya menjadi kering. Oleh karena itu dilakukan pengukuran nilai gradien suhu sebanyak 3 variasi keadaan gabah seperti yang telah disebutkan.



Gambar 18. Set alat pengukuran konduktivitas panas gabah

Keterangan Gambar 18:

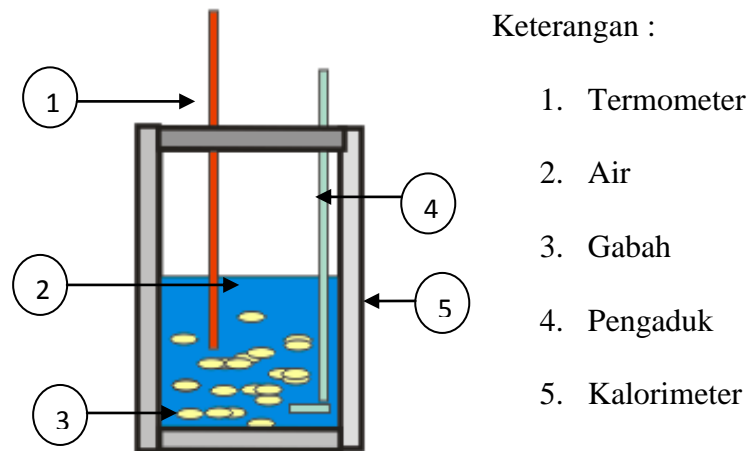
1. *Hair dryer* (sumber panas)
2. Arduino
3. LM 35DZ
4. Pipa berisi gabah dengan panjang pipa 60 cm dan diameter 2,8 cm.

5. Mengukur Panas Jenis Gabah

Mengukur panas jenis gabah menggunakan metode campuran karena metode ini sederhana dan umum digunakan pada bahan hasil pertanian yang berbentuk biji-bijian. Metode campuran menggunakan prinsip keseimbangan panas yaitu panas yang diberikan oleh bahan sama dengan panas yang diterima oleh sistem di dalam kalorimeter. Set alat kalorimeter dapat dilihat seperti pada Gambar 19. Pengukuran panas jenis gabah dilakukan pada saat

gabah dalam keadaan basah, agak basah dan kering. Langkah-langkah percobaan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Menimbang air, gabah dan kalorimeter secara terpisah.
- b. Memasukkan air sebanyak 116 g ke dalam kalorimeter dan diukur suhunya.
- c. Memanaskan gabah hingga suhu tertentu dan dicatat suhu akhir pemanasannya.
- d. Memasukkan gabah yang sudah dipanaskan ke dalam kalorimeter.
- e. Mengaduk kalorimeter selama 1 menit dan mengukur suhu akhir campuran antara air dan gabah.
- f. Mengulangi langkah a-e untuk keadaan gabah yang berbeda



Gambar 19. Kalorimeter

6. Mengukur Torsi Pengaduk

Pengukuran torsi pengaduk dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. Memberi beban pada pengaduk hingga pengaduk hampir tidak dapat berputar.
- b. Menimbang massa beban (m) dan mengukur jarak beban ke pusat rotasi (d).
- c. Mengukur percepatan gravitasi (g) dengan percobaan ayunan bandul sederhana.

7. Mengukur Percepatan Gravitasi

Pengukuran percepatan gravitasi dilakukan dengan percobaan ayunan bandul sederhana dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Menghubungkan salah satu ujung tali sepanjang 4,5 m dengan beban.
- b. Menghubungkan tali pada ujung yang lainnya dengan statip.
- c. Menyimpangkan bandul dengan sudut simpangan 5° .
- d. Merekam pergerakan bandul dengan kamera.
- e. Mengulangi langkah a-d dengan variasi panjang tali sebanyak 11 variasi dari 3,5 m – 4,5 m .
- f. Memasukkan hasil rekaman ke dalam *software* Avidemux dan kemudian diperoleh data panjang (l) dan periode (T) yang selanjutnya dianalisis.

8. Mengukur Besarnya Tegangan Keluaran AC PLN

Pengukuran besarnya tegangan keluaran AC PLN bertujuan untuk mengetahui bentuk sinyal *output* tegangan AC PLN jika diamati dengan menggunakan CRO dan *software* Spectra Plus. Langkah kerja yang dilakukan adalah:

- a. Menghubungkan tegangan AC PLN dengan transformator *step-down* 6 volt.
- b. Menghubungkan tegangan keluaran trafo dengan CRO untuk mengetahui bentuk sinyal *output* tegangan AC PLN dan mengetahui tegangan keluaran trafo.
- c. Membuat rangkaian pembagi tegangan untuk menurunkan tegangan keluaran trafo.
- d. Menghubungkan tegangan keluaran trafo dengan rangkaian pembagi tegangan.
- e. Menghubungkan tegangan keluaran dari rangkaian pembagi tegangan dengan laptop.
- f. Merekam tegangan AC PLN dengan *software* Spectra Plus.
- g. Menganalisis sinyal hasil rekaman.

E. Teknik Analisis Data

1. Analisis Diagram Blok

Setelah diketahui karakteristik masing-masing komponen sistem kontrol pengaduk secara keseluruhan, maka selanjutnya adalah menggambar

diagram blok sistem sesuai dengan prinsip kerja dan rangkaian sistem kontrol pengaduk.

2. Analisis Fungsi Transfer

Mendefinisikan masing-masing *input* dan *output* komponen sistem untuk merumuskan fungsi transfernya. Sebelumnya, *input* dan *output* komponen sistem ditransformasi dalam domain s dengan transformasi Laplace karena fungsi transfer adalah rasio transformasi Laplace *output* dengan transformasi Laplace *input*. Fungsi transfer setiap komponen saling dihubungkan sesuai dengan bentuk diagram blok sistem hingga diperoleh fungsi transfer sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah.

3. Analisis Data Hasil Percobaan Konduktivitas Panas Gabah

Pengukuran konduktivitas panas gabah menggunakan sensor suhu LM 35DZ yang menghasilkan lima titik data pengukuran suhu pada waktu tertentu. Kelima titik data tersebut kemudian diplot menggunakan perangkat lunak Origin 6.1.

Dari kelima titik data tersebut, besarnya gradien suhu $\frac{dT}{dx}$ dapat dihitung. Setelah nilai gradien suhu diketahui, kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (25) yang dapat dituliskan kembali:

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

4. Analisis Data Hasil Percobaan Panas Jenis Gabah

Penentuan panas jenis gabah c_b menggunakan persamaan (91) yang ditulis kembali:

$$c_b = \frac{m_a c_a (T_f - T_{ia})}{m_b (T_{ib} - T_f)}$$

5. Analisis Pengukuran Torsi Pengaduk

Pengukuran torsi pengaduk menggunakan persamaan (98) :

$$\tau = Fd \quad (98)$$

$$\tau = mgd \quad (99)$$

dimana : τ = torsi (Nm)

F = gaya (N)

m = massa (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

d = jarak beban ke pusat rotasi (m)

6. Analisis Pengukuran Percepatan Gravitasi

Periode dari suatu bandul yang bergetar dinyatakan melalui hubungan persamaan (100):

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (100)$$

dengan : l = panjang tali (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

$\pi = 3,14$

T = periode ayunan (s)

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g} \quad (101)$$

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \quad (102)$$

$$g = \frac{4\pi^2}{B} \quad (103)$$

Nilai B diperoleh dari data hasil rekaman kamera yang dimasukkan ke dalam *software* Origin. Data yang didapat adalah l dan T yang kemudian dibuat grafik hubungan antara l dan T^2 menggunakan *software* Origin dan dianalisis menggunakan *fit linear* sehingga diperoleh nilai gradien.

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial B}\right)^2 (\Delta B)^2} = \sqrt{\left(\frac{-4\pi^2}{B^2}\right)^2 (\Delta B)^2} \quad (104)$$

7. Analisis Distribusi Suhu Gabah dalam Tabung Pengering Gabah

Karena tabung pengering berbentuk silinder, maka analisis distribusi suhu gabah pada proses pengeringan menggunakan sistem koordinat silinder. Karena sumber panas menggunakan *heater*, maka persamaan panas ditambah satu suku sebagai suku sumber panas. Persamaan (38) dapat ditulis kembali menjadi:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{g_0}{k}$$

Persamaan (31) diselesaikan dengan menggunakan teknik pemisahan variabel. Solusi kemudian diplot ke dalam grafik dengan menggunakan *software* Matlab R2009a.

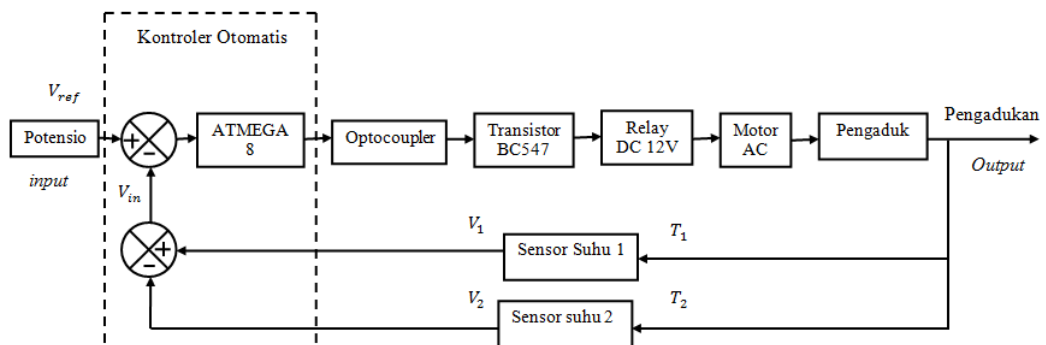
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Sistem Kontrol Pengaduk

Pada penelitian ini, sebelum sistem kontrol pengaduk bekerja, terlebih dahulu dilakukan pengondisian tabung. Pengondisian tabung dilakukan dengan memanaskan ruang tabung pengering hingga suhu mencapai 50°C . Setelah suhu mencapai batas yang diinginkan, maka motor pengaduk akan berputar dan gabah siap untuk dimasukkan. Pengondisian tabung dengan keadaan awal pengaduk yang berputar ini bertujuan untuk meratakan gabah saat pertama kali dimasukkan ke dalam tabung pengering. Setelah proses pengondisian tabung selesai, maka sistem kontrol pengaduk akan bekerja.

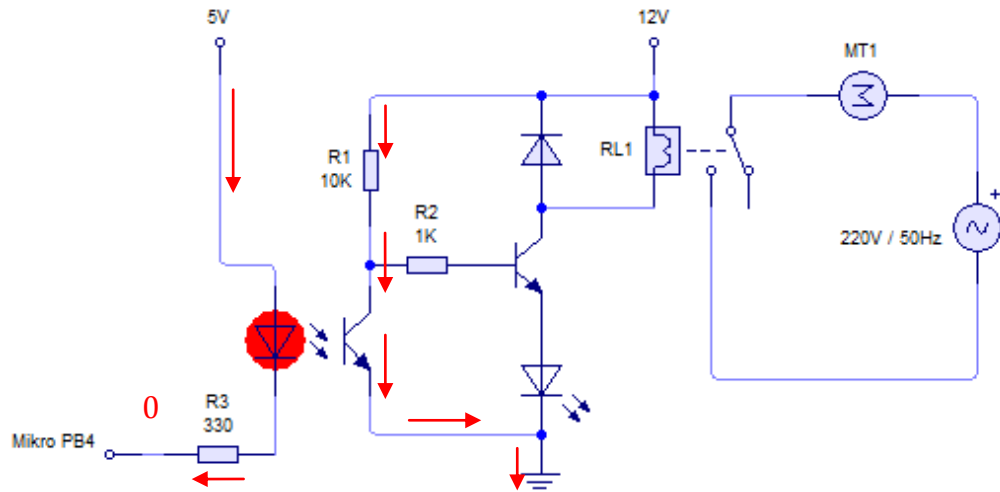
Komponen- komponen penyusun sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah ditunjukkan dalam bentuk diagram blok pada Gambar 20.



Gambar 20. Diagram blok sistem kontrol pengaduk

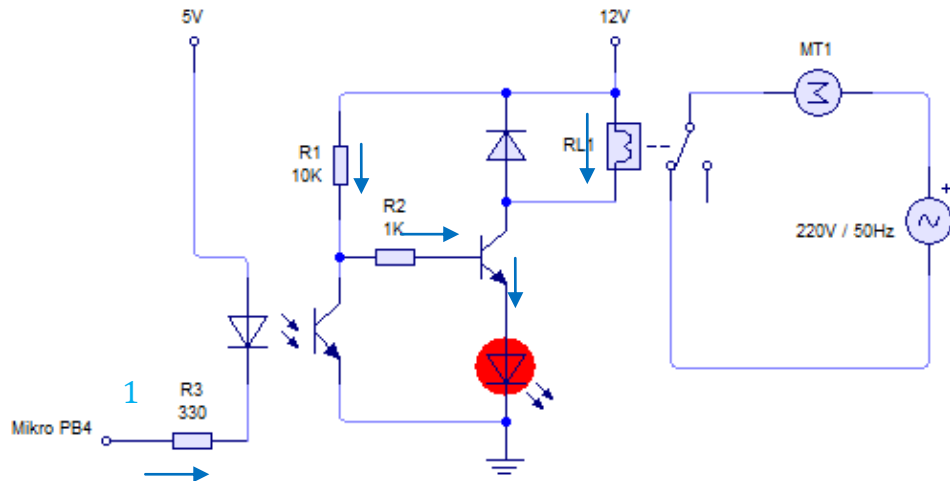
Gambar 20 menunjukkan bahwa terdapat dua buah sensor suhu dengan *output* berupa tegangan V_1 dan V_2 . Besarnya tegangan V_1 dan V_2 dapat berubah-ubah tergantung pada suhu yang diterima oleh sensor suhu. Tegangan *output* dari dua sensor suhu akan masuk pada elemen pembanding, yang kemudian dilakukan operasi pengurangan. Selisih antara V_1 dan V_2 disebut sebagai tegangan *input* (V_{in}). Terdapat dua buah masukan pada elemen pembanding yang kedua yaitu *output* dari potensiometer sebagai tegangan referensi (V_{ref}) dan *sinyal feedback* dari sensor suhu yang berupa tegangan *input* (V_{in}). Dua buah masukan tegangan pada elemen pembanding ke dua, akan diproses untuk dibandingkan nilainya dengan hasil berupa sinyal *error*. Hasil dari perbandingan tegangan akan menentukan keluaran dari mikrokontroler yang menuju ke saklar. Jika mikrokontroler berlogika 1, maka *optocoupler* akan *OFF*, sehingga transistor mencapai titik saturasi atau jenuh. Akibatnya, *relay* akan aktif dan arus listrik akan mengalir ke motor AC. Motor AC dalam keadaan *ON* sehingga menggerakkan pengaduk yang menyebabkan terjadinya proses pengadukan gabah. Apabila mikrokontroler berlogika 0, maka *optocoupler* akan *ON*, sehingga transistor dalam keadaan *cut-off* dan *relay* dalam keadaan terbuka sehingga tidak ada arus yang mengalir ke motor AC yang menyebabkan pengaduk tidak berputar.

Rangkaian Listrik Sistem Kontrol Pengaduk



Gambar 21. Arah arus pada rangkaian listrik sistem kontrol pengaduk saat motor AC dalam keadaan *OFF*

Berdasarkan pada Gambar 21 terdapat panah berwarna merah yang menunjukkan aliran arus listrik pada saat motor AC dalam keadaan *OFF*. Jika *output* dari mikrokontroler berlogika 0, maka LED inframerah pada *optocoupler* akan menyala (memancarkan cahaya). Cahaya yang masuk pada *phototransistor* (terminal basis) akan menimbulkan arus pada kolektor dan emitor sehingga *phototransistor* tersebut akan *ON* dan *output*-nya akan berlogika *low*. Arus akan mengalir dari kolektor menuju emitor *phototransistor* sehingga V_{BE} (saklar transistor) mendekati nol. Keadaan ini mengakibatkan tidak ada arus yang mengalir ke basis transistor sehingga transistor yang difungsikan sebagai saklar tidak mencapai titik saturasi, maka *switch relay* tetap pada terminal *normally closed* (NC) dan motor AC tidak dialiri arus listrik.



Gambar 22. Arah arus pada rangkaian listrik sistem kontrol pengaduk saat motor AC dalam keadaan *ON*

Berdasarkan pada Gambar 22 terdapat panah berwarna biru yang menunjukkan aliran arus listrik pada saat motor AC dalam keadaan *ON*. Jika *output* dari mikrokontroler berlogika 1, maka LED inframerah pada *optocoupler* akan *OFF*. Sehingga tidak ada cahaya yang terdeteksi oleh basis *phototransistor* yang mengakibatkan tidak adanya arus pada kolektor ke emitor sehingga *phototransistor* tersebut akan *OFF* dan *output*-nya akan berlogika *high*. Hal ini membuat basis pada transistor dialiri oleh arus. Pada saat basis transistor dialiri arus, maka transistor akan bekerja dan mengalirkan arus dari kolektor ke emitor sehingga LED akan menyala dan kumparan koil *relay* akan menjadi magnet dan *switch relay* akan berubah dari terminal *normally closed* (NC) menuju terminal *normally open* (NO), sehingga motor AC akan berputar atau bekerja (*ON*).

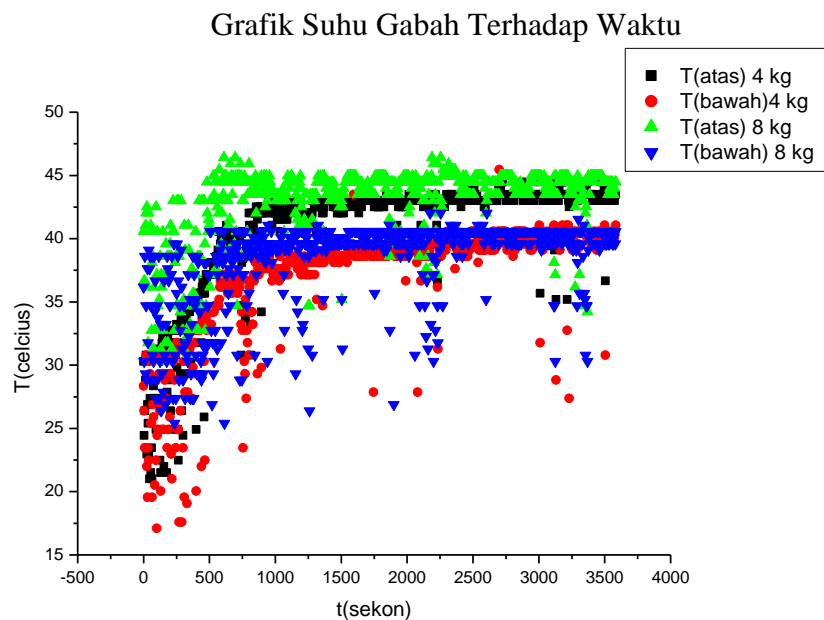
1. Sensor Suhu LM 35DZ

a. Penempatan sensor suhu LM 35DZ

Ada beberapa tahapan dalam pengujian penempatan sensor yaitu:

1) Tahap Pertama

Proses pengambilan data dilakukan dengan suhu ruang pengering dibuat konstan pada suhu 50°C , *set point* beda suhu 3°C , posisi sensor berada pada 4 cm dari dasar tabung serta jarak antar sensor 3,5 cm dan menggunakan variasi massa gabah 4 kg dan 8 kg. Pada variasi massa 4 kg, sensor yang berada di bagian atas tidak tertimbun oleh gabah sedangkan sensor bagian bawah tertimbun oleh gabah. Sedangkan pada variasi massa gabah 8 kg, sensor atas dan bawah tertimbun oleh gabah. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan maka diperoleh data yang ditampilkan dalam sebuah grafik pada Gambar 23.



Gambar 23. Grafik antara perubahan suhu terhadap waktu pada variasi massa gabah 4 kg dan 8 kg

Gambar 23 menunjukkan bahwa suhu gabah semakin meningkat seiring bertambahnya waktu dan semakin lama gabah berada pada suhu yang stabil. Suhu gabah akan naik lebih cepat pada awal pengeringan (10 menit pertama) dari suhu awalnya. Kejadian tersebut dapat dijelaskan dengan mekanisme dasar pengeringan. Pada proses awal pengeringan, suhu gabah naik dengan cepat karena adanya mekanisme perpindahan panas dan massa yang akan membentuk lapisan film uap air kontinyu di permukaan. Dengan terbentuknya lapisan film uap air tersebut, maka panas akan digunakan untuk melepas air di permukaan dan suhu yang terukur adalah suhu film tersebut. Seiring dengan bertambahnya waktu maka suhu dari gabah akan mendekati konstan karena kandungan air di permukaan sudah tidak dapat membentuk lapisan film kontinyu, sehingga panas digunakan secara konduksi oleh gabah untuk memberikan *driving force* agar air di dalam bahan dapat keluar.

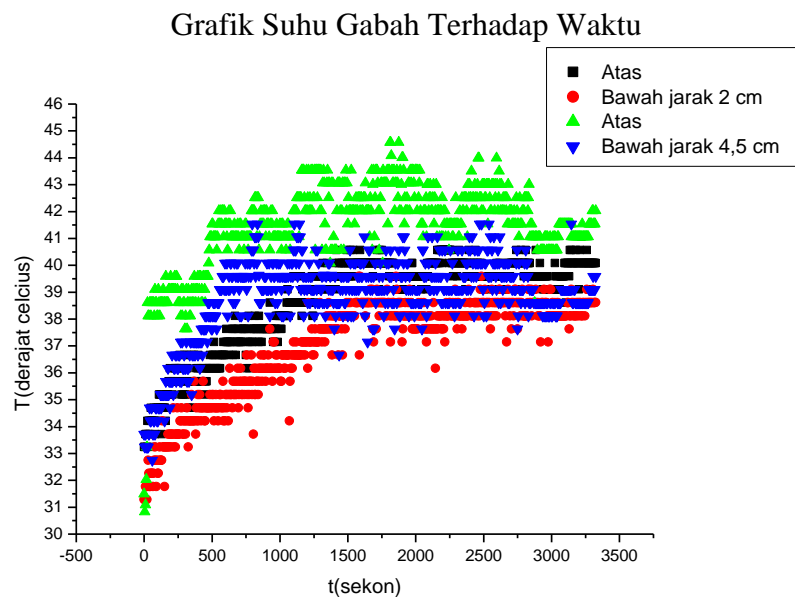
Selain itu, grafik pada Gambar 23 dengan variasi massa 4 kg dan 8 kg, suhu gabah menunjukkan pola titik-titik data yang hampir sama pada kedua variasi. Hal ini menunjukkan bahwa variasi massa tidak mempengaruhi pembacaan suhu meskipun pada massa 4 kg salah satu sensor tidak tertimbun oleh gabah. Pada tahap ini pengaduk melakukan pengadukan sesuai dengan yang diinginkan.

2) Tahap Kedua

Proses pengambilan data dilakukan dengan suhu ruang pengering dibuat konstan pada suhu 50°C, *set point* beda suhu 3°C, variasi

penempatan sensor seperti terlihat pada Gambar 16 (b) poin ke-4 dan 5 serta menggunakan massa gabah 8 kg.

Pada variasi jarak sensor 2 cm dari dasar tabung, proses pengadukan jarang terjadi, sehingga menyebabkan sebagian gabah menjadi gosong karena salah satu pemanas diletakkan di bagian bawah dan mengenai gabah. Sedangkan pada variasi jarak 4,5 cm dari dasar tabung, pengaduk lebih sering melakukan pengadukan karena posisi sensor bagian atas lebih dekat dengan pemanas serta tidak tertimbun gabah dan posisi sensor bagian bawah tertimbun oleh gabah yang menyebabkan nilai beda suhu gabah yang terjadi lebih dari 3°C.



Gambar 24. Grafik perubahan suhu terhadap waktu pada variasi posisi penempatan sensor dengan massa tetap 8 kg

Gambar 24 menunjukkan bahwa untuk penempatan sensor yang berjarak 2 cm dari dasar tabung, pada 25 menit pertama terjadi kenaikan suhu yang lebih besar dibandingkan dengan menit-menit selanjutnya.

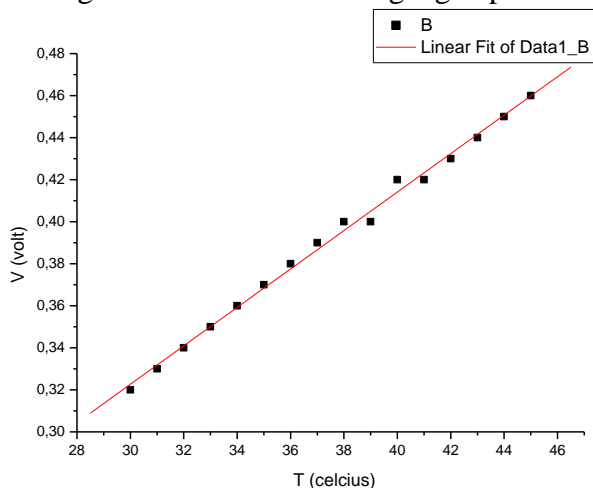
Sedangkan pada penempatan sensor 4,5 cm dari dasar tabung, 13 menit pertama terjadi peningkatan suhu dibandingkan dengan menit selanjutnya yang cenderung lebih stabil. Penempatan sensor pada jarak 2 cm membutuhkan waktu yang lebih lama agar gabah mencapai suhu stabil atau suhu tidak berubah ketika waktu bertambah (keadaan *steady state*) dibandingkan dengan penempatan sensor pada jarak 4,5 cm. Hal ini menunjukkan bahwa keadaan *steady state* lebih cepat dicapai oleh gabah yang penempatan sensornya 4,5 cm dari dasar tabung (pengaduk lebih sering berputar).

Berdasarkan tujuan utama pengujian penempatan sensor yang telah dilakukan adalah untuk mengetahui posisi penempatan sensor yang sesuai dengan alat pengering gabah dalam penelitian ini, maka penempatan sensor yang sesuai adalah penempatan sensor pada tahap pengujian pertama, karena posisi sensor pada tahap ini dapat mengukur suhu gabah yang nilainya tidak dipengaruhi oleh seberapa banyak massa gabah yang dikeringkan.

b. Kalibrasi sensor suhu LM 35DZ 1

Sebelum digunakan, sensor suhu LM 35DZ dikalibrasi terlebih dahulu dengan suhu yang ditunjukkan oleh termometer. Hasil kalibrasi diplot dalam bentuk grafik menggunakan *software* Origin yang ditunjukkan pada Gambar 25.

Grafik Hubungan Antara Suhu dan Tegangan pada LM 35DZ 1



Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	0,04824	0,00619
B	0,00915	1,63758E-4

R	SD	N	P
0,99776	0,00302	16	<0.0001

Gambar 25. Grafik dan hasil analisis perubahan suhu terhadap tegangan LM 35DZ 1

Gambar 25 menunjukkan bahwa titik-titik pengukuran data tegangan sensor bertambah seiring dengan kenaikan suhu. Kecenderungan hasil pengukuran berbentuk garis lurus dengan kemiringan positif.

Fitting grafik menghasilkan persamaan $Y = A + B * X$ dimana $Y =$ tegangan, $X =$ suhu sensor dan A adalah titik potong dengan nilai $A = (0,048 \pm 0,006) V$. Hal ini menyatakan jika suhu $0^{\circ}C$ maka sensor LM 35DZ mengeluarkan *output* tegangan sebesar $0,048 V$ dengan ketidakpastian $0,006 V$. Sedangkan B adalah gradien atau sensitivitas sensor dengan nilai

$B = (0,92 \pm 0,02) \times 10^{-2} \text{V}/^\circ\text{C}$. Hal ini menyatakan bahwa setiap kenaikan suhu 1°C , terjadi kenaikan tegangan 9,2 mV dengan ketidakpastian 0,2 mV.

Input sensor suhu LM 35DZ berupa perubahan suhu terhadap waktu dengan persamaan:

$$T_1(t) = T_0 + x_2 \cdot t \quad (105)$$

Transformasi Laplace persamaan (105) adalah:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[T_1(t)] &= \mathcal{L}[T_0 + x_2 \cdot t] \\ T_1(s) &= \frac{T_0}{s} + \frac{x_2}{s^2} \end{aligned} \quad (106)$$

dimana x_2 adalah nilai gradien suhu dan T_0 adalah suhu awal. *Output* sensor suhu LM 35DZ adalah berupa tegangan dengan persamaan:

$$V_{LM\ 35DZ\ 1} = V_0 + x_1 \cdot T_1 \quad (107)$$

$$V_{LM\ 35DZ\ 1} = V_1$$

Substitusi persamaan (105) ke persamaan (107) menghasilkan persamaan (108):

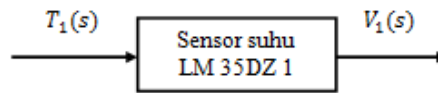
$$\begin{aligned} V_1(t) &= V_0 + x_1 \cdot (T_0 + x_2 \cdot t) \\ &= V_0 + x_1 \cdot T_0 + x_1 x_2 \cdot t \end{aligned} \quad (108)$$

Transformasi Laplace persamaan (108) adalah:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[V_1(t)] &= \mathcal{L}[V_0 + x_1 \cdot T_0 + x_1 x_2 \cdot t] \\ V_1(s) &= \frac{V_0 + x_1 \cdot T_0}{s} + \frac{x_1 x_2}{s^2} \end{aligned} \quad (109)$$

Fungsi transfer dan diagram blok sensor suhu LM 35DZ 1 adalah:

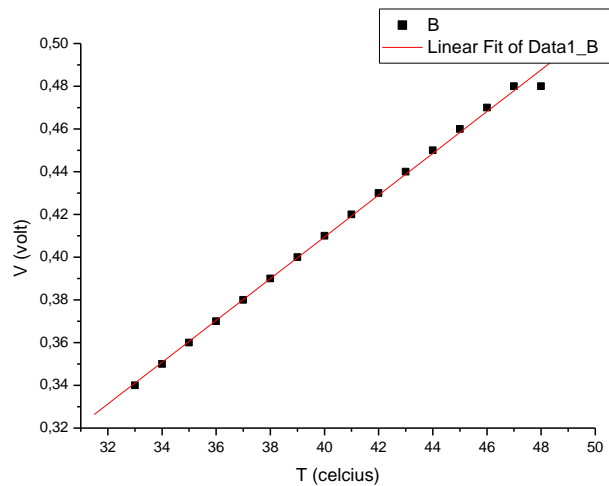
$$G_1(s) = \frac{V_1(s)}{T_1(s)} = \frac{\frac{V_0 + x_1 \cdot T_0}{s} + \frac{x_1 x_2}{s^2}}{\frac{T_0}{s} + \frac{x_2}{s^2}} \quad (110)$$



Gambar 26. Diagram blok sensor suhu LM 35DZ 1

c. Kalibrasi sensor suhu LM 35DZ 2

Grafik Hubungan Antara Suhu dan Tegangan pada LM 35DZ 2



Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error	
A	0,01831	0,00519	
B	0,00978	1,27357E-4	
R	SD	N	P
0,99881	0,00235	16	<0.0001

Gambar 27. Grafik dan analisis hubungan antara suhu dan tegangan pada LM 35DZ 2

Dari analisis diperoleh nilai $A = (0,018 \pm 0,005) \text{ V}$. Hal ini menyatakan jika suhu 0°C maka sensor suhu LM 35DZ mengeluarkan *output* sebesar 0,018 V dengan ketidakpastian 0,005 V. Sedangkan B adalah gradien

atau sensitifitas sensor dengan nilai $B = (0,98 \pm 0,01) \times 10^{-2} \text{V}/^\circ\text{C}$. Hal ini menyatakan bahwa setiap kenaikan 1°C terjadi kenaikan tegangan 9,8 mV dengan ketidakpastian 0,1 mV.

Input sensor suhu LM 35DZ 2 berupa perubahan suhu terhadap waktu dengan persamaan:

$$T_2(t) = T_0 + x_4 \cdot t \quad (111)$$

Transformasi Laplace persamaan (111) adalah:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[T_2(t)] &= \mathcal{L}[T_0 + x_4 \cdot t] \\ T_2(s) &= \frac{T_0}{s} + \frac{x_4}{s^2} \end{aligned} \quad (112)$$

dimana x_4 adalah nilai gradien suhu dan T_0 adalah suhu awal. Keluaran sensor suhu LM 35DZ adalah berupa tegangan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V_{LM\ 35DZ\ 2} = V_0 + x_3 \cdot T_2 \quad (113)$$

$$V_{LM\ 35DZ\ 2} = V_2$$

Substitusi persamaan (111) ke persamaan (113) menghasilkan persamaan (114):

$$\begin{aligned} V_2(t) &= V_0 + x_3 \cdot (T_0 + x_4 \cdot t) \\ &= V_0 + x_3 \cdot T_0 + x_3 x_4 \cdot t \end{aligned} \quad (114)$$

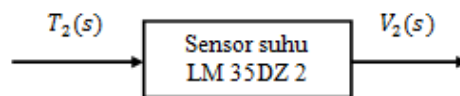
Transformasi Laplace persamaan (114) adalah:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[V_2(t)] &= \mathcal{L}[V_0 + x_3 \cdot T_0 + x_3 x_4 \cdot t] \\ V_2(s) &= \frac{V_0 + x_3 \cdot T_0}{s} + \frac{x_3 x_4}{s^2} \end{aligned} \quad (115)$$

Fungsi transfer dari sensor suhu LM 35DZ diperoleh dengan cara membandingkan transformasi Laplace tegangan sebagai *output* dengan transformasi Laplace suhu sebagai *input* adalah:

$$G_2(s) = \frac{V_2(s)}{T_2(s)} = \frac{\frac{V_0 + x_3 \cdot T_0}{s} + \frac{x_3 x_4}{s^2}}{\frac{T_0}{s} + \frac{x_4}{s^2}} \quad (116)$$

sehingga diagram blok sensor suhu LM 35DZ 2

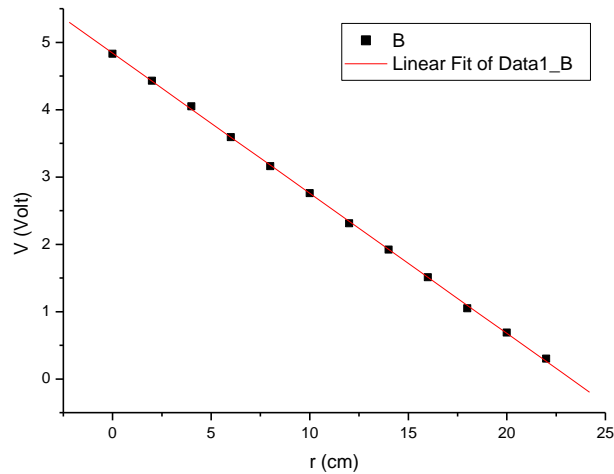


Gambar 28. Diagram blok sensor suhu LM 35DZ 2

2. Potensiometer

Potensiometer berfungsi untuk memberikan tegangan referensi (V_{ref}) pada rangkaian sistem kontrol pengaduk. Tegangan referensi digunakan sebagai tegangan pembatas yang nantinya akan dibandingkan dengan tegangan *input* (V_{in}) yang berasal dari sensor suhu LM 35DZ. Potensiometer berfungsi sebagai pembagi tegangan yang menghasilkan tegangan berdasarkan pergeseran. Untuk mengetahui hubungan antara jarak pergeseran dan tegangan keluaran potensiometer, maka dilakukan percobaan dengan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 29.

Grafik Tegangan Terhadap Pergeseran Potensiometer



Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error	
A	4,83962	0,0142	
B	-0,20815	0,00109	
R	SD	N	P
-0,99986	0,02615	12	<0.0001

Gambar 29. Grafik dan analisis tegangan terhadap pergeseran potensiometer

Hasil analisis grafik di atas adalah persamaan:

$$Y = A + B.X \tag{117}$$

dengan nilai $A = (4,84 \pm 0,01) \text{ V}$. Hal ini menyatakan jika potensiometer berada di posisi 0 cm, maka potensiometer mengeluarkan *output* sebesar 4,84 V dengan ketidakpastian 0,01 V. Sedangkan B adalah gradien atau sensitifitas dengan nilai $B = (-0,208 \pm 0,001) \text{ V/cm}$. Hal ini menyatakan bahwa setiap pergeseran 1 cm terjadi penurunan tegangan 0,208 V dengan ketidakpastian 0,001 V. Berdasarkan persamaan (117) maka:

$$V_{\text{potensiometer}}(t) = V_0 - x_5 \cdot r(t) \quad (118)$$

$$V_{\text{potensiometer}} = V_{\text{ref}}$$

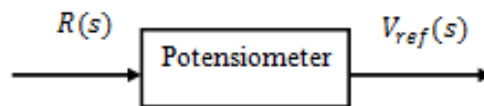
Dengan menerapkan transformasi Laplace pada persamaan (118), maka diperoleh:

$$\mathcal{L}[V_{\text{ref}}(t)] = \mathcal{L}[V_0 - x_5 \cdot r(t)]$$

$$V_{\text{ref}}(s) = \frac{V_0}{s} - x_5 \cdot R(s) \quad (119)$$

Fungsi transfer dan diagram blok untuk potensiometer dengan *input* $R(s)$ dan *output* $V_{\text{ref}}(s)$ adalah:

$$G_3(s) = \frac{V_{\text{ref}}(s)}{R(s)} = \frac{V_0}{s R(s)} - x_5 \quad (120)$$



Gambar 30. Diagram blok potensiometer

3. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan kontroler utama dari sistem kontrol pengaduk. Masukan dari potensiometer dan sensor suhu diolah oleh mikrokontroler dan akan memberikan keluaran sesuai dengan program yang telah dibuat. Mikrokontroler tersusun atas sistem rangkaian yang kompleks dan dapat diprogram. Karena sistem rangkaiannya yang kompleks, maka akan mempersulit dalam analisis apabila dilakukan analisis satu persatu komponen penyusunnya, sehingga pada blok mikrokontroler hanya akan dijelaskan *input* dan *output*-nya saja.

Sistem kontrol yang telah dibuat menggunakan mikrokontroler sebagai elemen pembanding. Perbandingan yang digunakan dalam bentuk program yang telah ditanamkan ke dalam mikrokontroler. Secara garis besar logika program yang ditanamkan adalah sebagai berikut: apabila terdapat beda suhu antara gabah bagian atas dan bagian bawah, maka pengaduk akan berputar dan sebaliknya apabila tidak terjadi beda suhu, maka pengaduk tidak berputar.

Terdapat dua buah masukan pada elemen pembanding yang kedua yaitu tegangan referensi (V_{ref}) dan tegangan input (V_{in}) yang keduanya akan dibandingkan dengan hasil tegangan masukan (V_i), dimana:

$$V_i(t) = V_{ref}(t) - V_{in}(t) \quad (121)$$

Jika tegangan masukan (V_i) lebih besar dari nol atau dengan kata lain tidak terjadi beda suhu, maka tegangan keluaran (V_o) mikrokontroler akan berlogika 0 yang nilainya mendekati *ground*. Namun apabila tegangan masukan (V_i) kurang dari atau sama dengan nol (terjadi beda suhu), maka tegangan keluaran (V_o) mikrokontroler akan berlogika 1 yang nilainya mendekati tegangan sumber yaitu 4,92 V. Sehingga persamaan untuk proses yang terjadi di dalam mikrokontroler adalah:

$$V_o(t) = \begin{cases} 0 & , \text{jika } V_i(t) > 0 \\ 4,92 \text{ V} & , \text{jika } V_i(t) \leq 0 \end{cases} \quad (122)$$

Transformasi Laplace persamaan (122) pada keadaan mikrokontroler berlogika 1 (*high*) adalah:

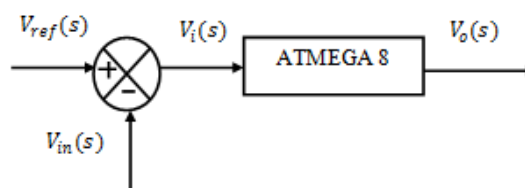
$$\mathcal{L}[V_o(t)] = \mathcal{L}[4,92]$$

$$V_o(s) = \frac{4,92}{s} \quad (123)$$

Fungsi transfer persamaan (123) adalah:

$$G_4(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{4,92}{sV_i(s)} \quad (124)$$

Diagram blok untuk mikrokontroler adalah sebagai berikut:



Gambar 31. Diagram blok mikrokontroler ATMEGA 8

4. *Optocoupler*

Optocoupler berfungsi sebagai pemisah antara tegangan keluaran mikrokontroler dan tegangan yang masuk ke saklar transistor dan *relay*. Dengan adanya *optocoupler* diharapkan kerja dari mikrokontroler tidak terganggu oleh tegangan balik yang mungkin terjadi dari daerah saklar transistor dan *relay*.

Jika V_o dari mikrokontroler berlogika 1, maka tidak ada arus yang mengalir pada LED inframerah. Hal ini menyebabkan hubungan kolektor emitor pada phototransistor terputus dan V_{BE} (saklar transistor) sama dengan 0,747 volt. Sebaliknya, jika V_o dari mikrokontroler berlogika 0, maka arus akan mengalir pada LED inframerah yang menyebabkan LED memancarkan

cahaya. Cahaya tersebut akan dideteksi oleh phototransistor (terminal basis) dan menyebabkan terminal kolektor dan emitor pada phototransistor terhubung singkat. Arus akan mengalir dari kolektor menuju emitor phototransistor sehingga V_{BE} (saklar transistor) mendekati nol. Berdasarkan uraian di atas maka dapat dirumuskan persamaan (125).

$$V_{BE}(t) = \begin{cases} 1,774 \text{ mV} & , \text{jika } V_o(t) = 0 \text{ V} \\ 0,747 \text{ V} & , \text{jika } V_o(t) = 4,9 \text{ V} \end{cases} \quad (125)$$

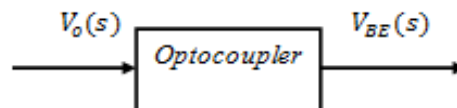
Transformasi Laplace untuk V_{BE} saat kondisi mikrokontroler berlogika 1 (*high*) adalah:

$$\begin{aligned} \mathcal{L}[V_{BE}(t)] &= \mathcal{L}[0,747] \\ V_{BE}(s) &= \frac{0,747}{s} \end{aligned} \quad (126)$$

Fungsi transfer dari *optocoupler* diperoleh dengan cara membandingkan transformasi Laplace V_{BE} sebagai *output* dengan transformasi Laplace V_o sebagai *input* adalah:

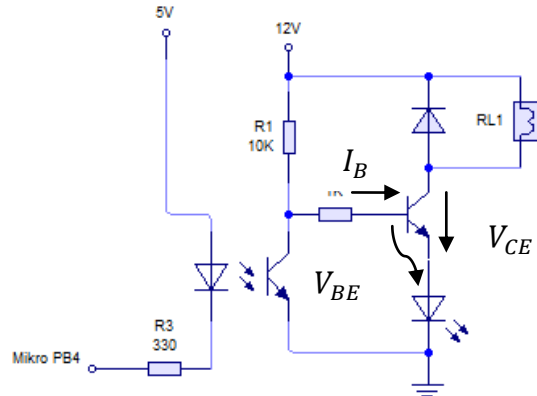
$$G_5(s) = \frac{V_{BE}(s)}{V_o(s)} = \frac{0,747}{sV_o(s)} \quad (127)$$

sehingga dapat digambarkan diagram blok *optocoupler* sebagai berikut:



Gambar 32. Diagram blok *optocoupler*

5. Transistor



Gambar 33. Rangkaian saklar transistor

Gambar 33 menunjukkan bahwa untuk membuat transistor dapat menghantarkan arus listrik, maka basis harus diberikan tegangan, yaitu berupa tegangan keluaran mikrokontroler (V_{BE}). Transistor akan bekerja pada keadaan saturasi. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh data yang ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengujian karakteristik transistor

No	Mikro	V_{BE} (V)	i_B (mA)	i_C (mA)	V_{CE} (V)	Kondisi kerja	Switch Transistor
1	High (1)	0,747	0,88	25,46	0,0807	Saturasi	ON
2	Low (0)	0,177	0,02	0,02	11,37	Cut-Off	OFF

Jadi, transistor bersaturasi (ON) ketika $V_{BE} = 0,747$ V. Transistor akan berada dalam keadaan *cut-off* apabila $V_{BE} = 177,4$ mV. Selain itu untuk membuat transistor bersaturasi, maka dibutuhkan arus basis i_B . Berdasarkan pada Gambar 33, besarnya nilai V_{BE} adalah:

$$V_{BE} = V_{BB} + i_B R_B \quad (128)$$

Dengan mengetahui nilai dari V_{BE} , V_{BB} dan R_B maka nilai i_B dapat ditentukan dengan persamaan (129):

$$i_B(t) = \frac{V_{BB}(t) - V_{BE}(t)}{R_B} \quad (129)$$

Transformasi Laplace persamaan (129) adalah:

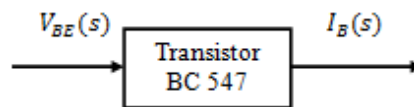
$$\mathcal{L}[i_B(t)] = \mathcal{L}\left[\frac{V_{BB}(t) - V_{BE}(t)}{R_B}\right]$$

$$I_B(s) = \frac{V_{BB}(s) - V_{BE}(s)}{R_B} \quad (130)$$

Fungsi transfer untuk transistor adalah:

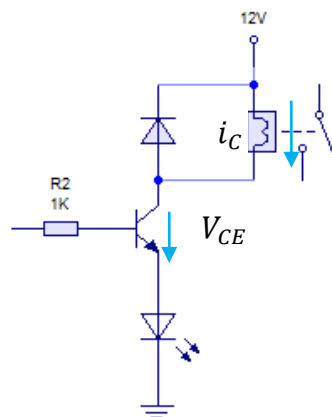
$$G_6(s) = \frac{I_B(s)}{V_{BE}(s)} = \frac{V_{BB}(s) - V_{BE}(s)}{R_B V_{BE}(s)} \quad (131)$$

sehingga dapat digambarkan diagram blok sebagai berikut:



Gambar 34. Diagram blok transistor

6. Relay



Gambar 35. Rangkaian driver relay

Berdasarkan Gambar 35 untuk mengaktifkan *switch relay* maka arus harus mengalir dari kolektor ke emitor, sehingga arus *relay* sama dengan arus kolektor. Besar arus yang mengalir dari kolektor ke emitor diperoleh dari persamaan (132):

$$V_{CE} = V_{CC} - i_C \cdot R_C \quad (132)$$

Karena $i_C = i_B \beta$, sehingga :

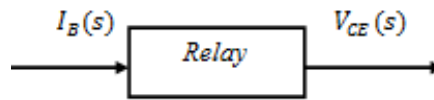
$$V_{CE}(t) = V_{CC}(t) - i_B(t) \beta R_C \quad (133)$$

Transformasi Laplace persamaan (133) adalah:

$$\mathcal{L}[V_{CE}(t)] = V_{CE}(s) = V_{CC}(s) - I_B(s) \beta R_C \quad (134)$$

Fungsi transfer dan diagram blok untuk *relay* adalah:

$$G_7(s) = \frac{V_{CE}(s)}{I_B(s)} = \frac{V_{CC}(s) - I_B(s) \beta R_C}{I_B(s)} \quad (135)$$



Gambar 36. Diagram blok *relay*

7. Motor AC

Motor AC dikendalikan oleh *relay* yang digunakan untuk menggerakkan pengaduk. Pada saat V_{CE} sama dengan 80,7 mV maka motor AC teraliri arus (*ON*) dan pada saat V_{CE} sama dengan nilai V_{CC} yaitu 11,37 V, maka motor AC tidak teraliri arus (*OFF*). Dengan demikian pernyataan tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

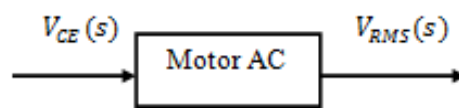
$$V_{RMS} = \begin{cases} 0 & , \text{jika } V_{CE} = 11,37 \text{ V} \\ 220 \text{ V} & , \text{jika } V_{CE} = 80,7 \text{ mV} \end{cases} \quad (136)$$

Transformasi Laplace untuk V_{RMS} pada saat motor *ON* adalah :

$$V_{RMS}(s) = \frac{220}{s} \quad (137)$$

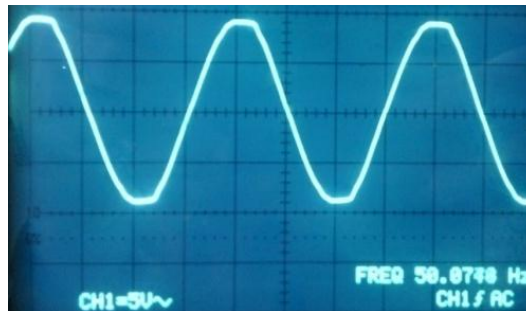
Dengan membandingkan V_{RMS} sebagai *output* dan V_{CE} sebagai *input*, maka fungsi transfer dan diagram blok untuk motor AC adalah sebagai berikut:

$$G_B(s) = \frac{V_{RMS}(s)}{V_{CE}(s)} = \frac{220}{sV_{CE}(s)} \quad (138)$$



Gambar 37. Diagram blok motor AC

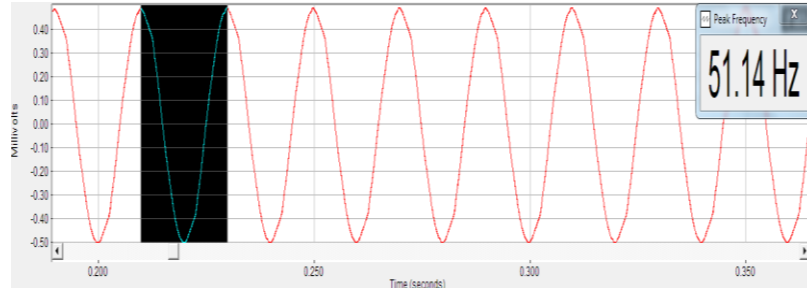
Motor AC menggunakan sumber tegangan AC PLN dengan bentuk gelombang sinusoidal. Jika diamati dengan menggunakan CRO maka terlihat bahwa gelombang tegangan tidak sinusoidal ideal, seperti dapat dilihat pada Gambar 38:



Gambar 38. Gelombang tegangan AC PLN diamati dengan CRO

Gelombang AC PLN tersebut kemudian dihubungkan dengan rangkaian pembagi tegangan. Tegangan keluaran pembagi tegangan kemudian

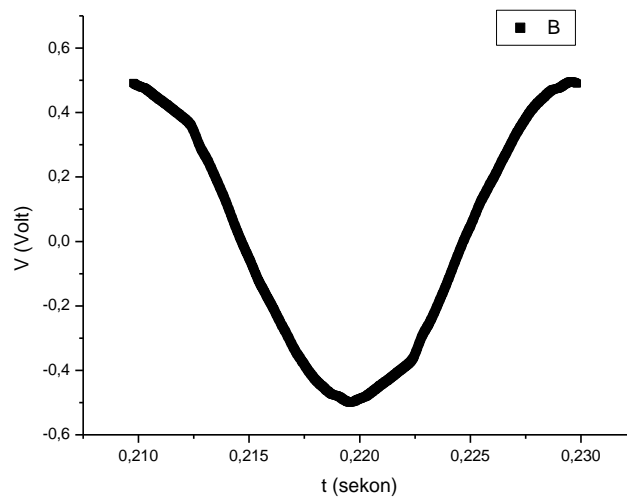
dihubungkan dengan lap top dan direkam dengan menggunakan *software* Spectra Plus.



Gambar 39. Gelombang tegangan AC PLN hasil rekaman dari Spectra Plus

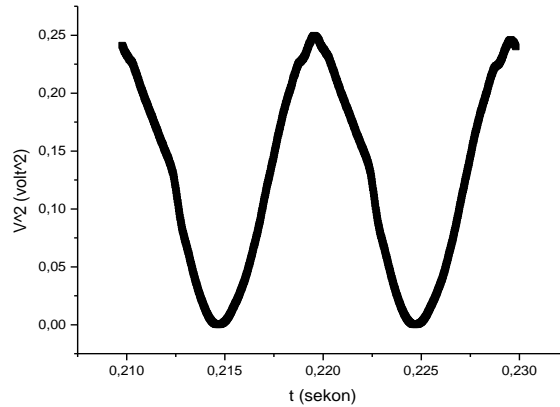
Gambar 39 merupakan tegangan *output* dari rangkaian pembagi tegangan dengan tegangan *input* 6 V AC dari transformator *step-down*. Besarnya nilai frekuensi gelombang AC PLN adalah 51,14 Hz.

Data pengujian diperoleh dengan cara mem-blok satu gelombang penuh pada Spectra dengan hasil ditunjukkan dalam bentuk grafik berikut:



Gambar 40. Grafik hubungan antara tegangan terhadap waktu hasil pemotongan gelombang AC PLN dengan Spectra Plus

Data tegangan pada Gambar 40 kemudian dikuadratkan dan diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 41. Grafik hubungan antara V^2 terhadap waktu hasil pemotongan gelombang AC PLN pada Spectra Plus

Tegangan AC PLN digunakan oleh motor AC sebagai tegangan sumber agar motor dapat berputar, sehingga perlu diketahui tegangan efektif atau juga disebut dengan tegangan RMS (*Root Mean Square*) dari tegangan AC PLN yang dapat dihitung menggunakan persamaan (139):

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \quad (139)$$

Jika integral pada persamaan (139) diubah dalam bentuk penjumlahan akan menjadi:

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=0}^{t=T} V(t)^2 \Delta t} \quad (140)$$

Besarnya tegangan yang terbaca pada Spectra Plus berasal dari rangkaian pembagi tegangan yang sebelumnya sudah diturunkan dengan *trafo step-down*. Oleh karena itu perlu dihitung konstanta pembanding antara tegangan

Spectra Plus sampai dengan tegangan AC PLN. Tabel 3 menunjukkan perbandingan tegangan AC hasil analisis.

Tabel 3. Perbandingan tegangan AC hasil analisis:

Perbandingan sumber tegangan	Besar nilai tegangan	Konstanta pembanding
$\frac{AC\ PLN}{Trafo}$	$\frac{220\ V}{6\ V}$	36,67
$\frac{Trafo}{Pembagi\ Tegangan}$	$\frac{6\ V}{0,052\ V}$	115,38
$\frac{Pembagi\ tegangan}{Spectra\ Plus}$	$\frac{0,052\ V}{0,0003518\ V}$	147,81

Tegangan RMS di aplikasi Spectra Plus dari hasil analisis grafik pada Gambar (38) adalah 0,35 mV. Apabila nilai tegangan RMS dari Spectra Plus dikalikan dengan setiap konstanta pembanding pada Tabel 3, maka akan diperoleh nilai tegangan RMS PLN sebesar 220 V.

8. Pengaduk

Pengaduk menggunakan *output* motor AC sebagai *input*, sehingga $V_{RMS}(s)$ menjadi *input* pengaduk dan menghasilkan *output* berupa energi $W(s)$. Besarnya energi listrik dinyatakan oleh persamaan di bawah ini:

$$W(t) = P \cdot t \quad (141)$$

Transformasi Laplace persamaan (141) adalah:

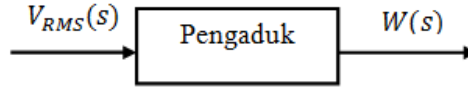
$$\mathcal{L}[W(t)] = \mathcal{L}[P \cdot t]$$

$$W(s) = \frac{P}{s^2} \quad (142)$$

Fungsi transfer untuk pengaduk adalah:

$$G_9(s) = \frac{W(s)}{V_{RMS}(s)} = \frac{P}{s^2 V_{RMS}(s)} \quad (143)$$

sehingga dapat digambarkan blok pengaduk sebagai berikut:



Gambar 42. Diagram blok pengaduk

Pada saat terjadi proses pengadukan, energi yang dihasilkan oleh motor AC akan digunakan pengaduk untuk mengaduk gabah. Diasumsikan jika pengaduk melakukan pengadukan secara berulang-ulang, maka akan menyebabkan suhu gabah bagian atas dan bagian bawah menjadi sama. Sehingga model matematika untuk proses pengadukan adalah:

$$T \sim W \quad (144)$$

$$T(t) = K_p \cdot W(t) \quad (145)$$

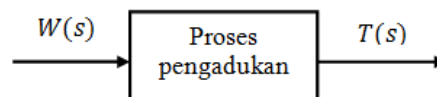
dimana T adalah suhu dan W adalah energi. Dengan menerapkan transformasi Laplace pada persamaan (145) maka diperoleh:

$$T(s) = K_p \cdot W(s) \quad (146)$$

Fungsi transfer untuk proses pengadukan adalah:

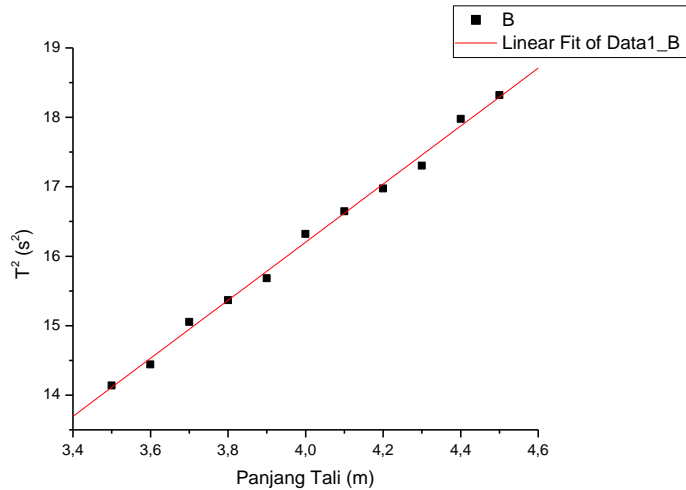
$$G_{10}(s) = \frac{T(s)}{W(s)} = K_p \quad (147)$$

dengan K_p adalah konstanta yang menunjukkan besarnya perubahan suhu per satuan energi. Gambar 43 menunjukkan blok proses pengadukan, dengan *input* energi dan *output* berupa suhu gabah.



Gambar 43. Diagram blok proses pengadukan

Untuk mengukur torsi pengaduk, terlebih dahulu dilakukan pengukuran percepatan gravitasi dengan hasil sebagai berikut:



Linear Regression for Data1_B:

$$Y = A + B * X$$

Parameter	Value	Error
A	-0.52102	0.36885
B	4.1808	0.09193

R	SD	N	P
0.99783	0.09641	11	<0.0001

Gambar 44. Grafik T^2 terhadap panjang tali l dan hasil analisis grafik

Dari hasil analisis diperoleh nilai $B = (4,18 \pm 0,09) \text{ s}^2/\text{m}$ sehingga berdasarkan persamaan (103) dan (104) diperoleh:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} = \frac{4\pi^2}{B} = \frac{4(3,14)^2}{4,18} = 9,44 \text{ m/s}^2$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial B}\right)^2 (\Delta B)^2} = \sqrt{\left(\frac{-4\pi^2}{B^2}\right)^2 (\Delta B)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{-4(3,14)^2}{(4,18)^2}\right)^2 (0,09)^2} = 0,05 \text{ m/s}^2$$

sehingga diperoleh $(g \pm \Delta g) = (9,44 \pm 0,05) \text{ m/s}^2$. Pengukuran torsi pengaduk menggunakan persamaan (99) dimana $m = 31,5 \text{ kg}$; $g = 9,44 \text{ m/s}^2$ dan $d = 14 \text{ cm} = 0,14 \text{ m}$, dan diperoleh:

$$\tau = mgd$$

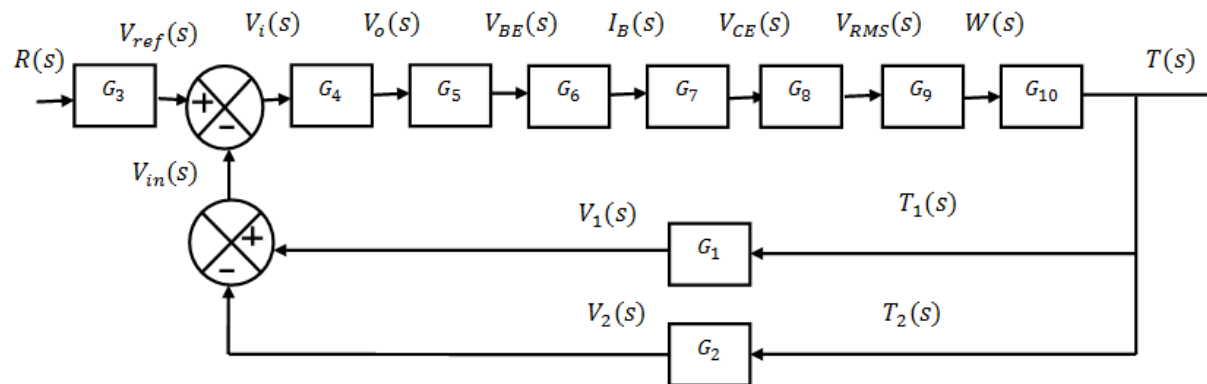
$$\tau = (31,5 \text{ kg})(9,44 \text{ m/s}^2) (0,14 \text{ m}) = 41,6304 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} \Delta\tau &= \sqrt{\left(\frac{\partial\tau}{\partial m}\right)^2 (\Delta m)^2 + \left(\frac{\partial\tau}{\partial g}\right)^2 (\Delta g)^2 + \left(\frac{\partial\tau}{\partial d}\right)^2 (\Delta d)^2} \\ &= 0,001 \text{ Nm} \end{aligned}$$

sehingga diperoleh $(\tau \pm \Delta\tau) = (41,630 \pm 0,001) \text{ Nm}$.

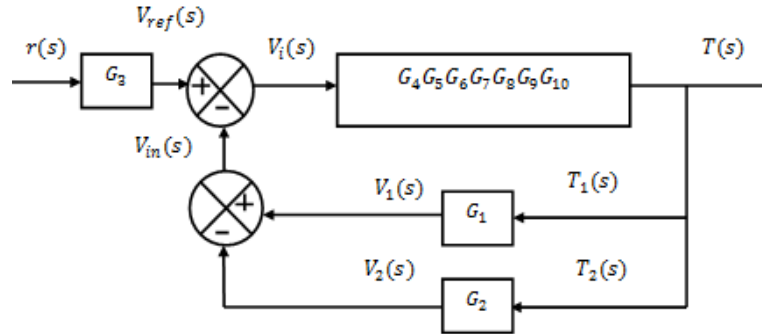
9. Diagram Blok dan Fungsi Transfer Keseluruhan Sistem

Diagram blok keseluruhan sistem pada Gambar 20 digambarkan kembali dengan menggunakan simbol G_n sehingga diperoleh Gambar 45:

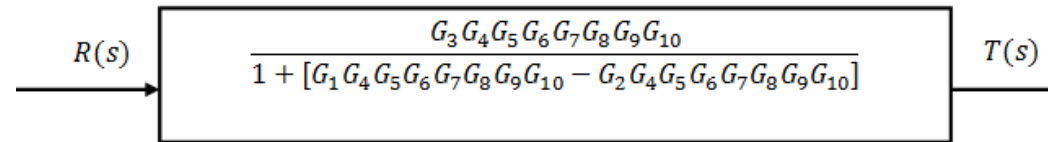


Gambar 45. Diagram blok sistem kontrol pengaduk

Diagram blok pada Gambar 45 dapat direduksi dengan menggunakan aturan penyederhanaan diagram blok. Gambar 46 dan 47 adalah penyederhanaan diagram blok pada Gambar 45.



Gambar 46. Reduksi diagram blok sistem kontrol pengaduk



Gambar 47. Diagram blok ekivalen sistem kontrol pengaduk

Jadi, fungsi transfer dari sitem kontrol pengaduk secara keseluruhan adalah:

$$\frac{T(s)}{R(s)} = \frac{\left(\frac{V_0}{sR(s)} - x_5\right) \left(\frac{4,92}{sV_i(s)}\right) \left(\frac{0,747}{sV_0(s)}\right) \left(\frac{V_{BB}(s)-V_{BE}(s)}{R_B V_{BE}(s)}\right) \left(\frac{V_{CC}(s)-I_B(s)\beta R_C}{I_B(s)}\right) \left(\frac{220}{sV_{CE}(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2 V_{RMS}(s)}\right) (K_P)}{1 + \left(\frac{V_0+x_1.T_0+\frac{x_1x_2}{s^2}}{\frac{T_0+x_2}{s}}\right) \left(\frac{4,92}{sV_i(s)}\right) \left(\frac{0,747}{sV_0(s)}\right) \left(\frac{V_{BB}(s)-V_{BE}(s)}{R_B V_{BE}(s)}\right) \left(\frac{V_{CC}(s)-I_B(s)\beta R_C}{I_B(s)}\right) \left(\frac{220}{sV_{CE}(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2 V_{RMS}(s)}\right) (K_P) - \left(\frac{V_0+x_3.T_0+\frac{x_3x_4}{s^2}}{\frac{T_0+x_4}{s}}\right) \left(\frac{4,92}{sV_i(s)}\right) \left(\frac{0,747}{sV_0(s)}\right) \left(\frac{V_{BB}(s)-V_{BE}(s)}{R_B V_{BE}(s)}\right) \left(\frac{V_{CC}(s)-I_B(s)\beta R_C}{I_B(s)}\right) \left(\frac{220}{sV_{CE}(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2 V_{RMS}(s)}\right) (K_P)} \quad (148)$$

Persamaan (148) dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{T(s)}{R(s)} = \frac{\left(\frac{V_0}{s R(s)} - x_5\right) \left(\frac{1}{V_i(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2}\right) (K_P)}{1 + \left[\left(\frac{V_0+x_1.T_0+x_1x_2}{s} \frac{1}{s^2}\right) \left(\frac{1}{V_i(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2}\right) (K_P) - \left(\frac{V_0+x_3.T_0+x_3x_4}{s} \frac{1}{s^2}\right) \left(\frac{1}{V_i(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2}\right) (K_P) \right]} \quad (149)$$

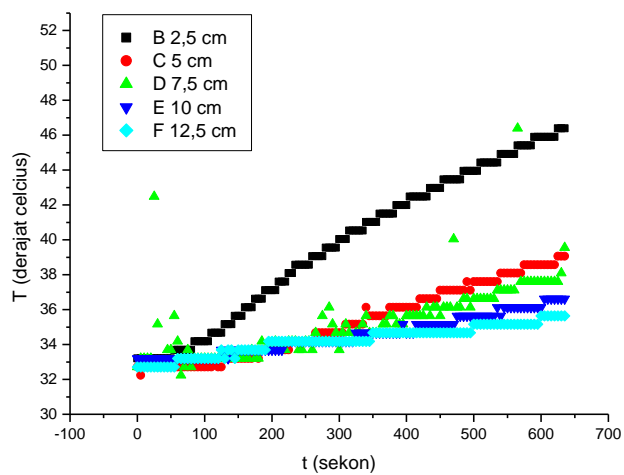
$$\frac{T(s)}{R(s)} = \frac{\left(\frac{V_0}{s R(s)} - x_5\right) \left(\frac{1}{V_i(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2}\right) (K_P)}{1 + \left(\frac{1}{V_i(s)}\right) \left(\frac{P}{s^2}\right) (K_P) \left[\left(\frac{V_0+x_1.T_0+x_1x_2}{s} \frac{1}{s^2}\right) - \left(\frac{V_0+x_3.T_0+x_3x_4}{s} \frac{1}{s^2}\right) \right]} \quad (150)$$

B. Distribusi Suhu Gabah

1. Pengukuran Konduktivitas Panas Gabah

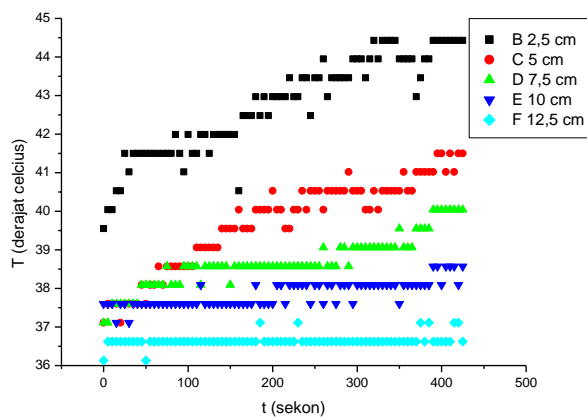
Pengukuran konduktivitas panas gabah dimulai dengan mengukur gradien suhu. Gradien suhu adalah selisih suhu gabah di titik yang berbeda pada waktu tertentu. Perbedaan suhu tersebut dapat dilihat pada gambar grafik distribusi suhu. Pengukuran nilai gradien suhu dilakukan untuk 3 variasi keadaan gabah (basah, basah kering, kering).

Grafik Suhu Terhadap Waktu pada Gabah Basah



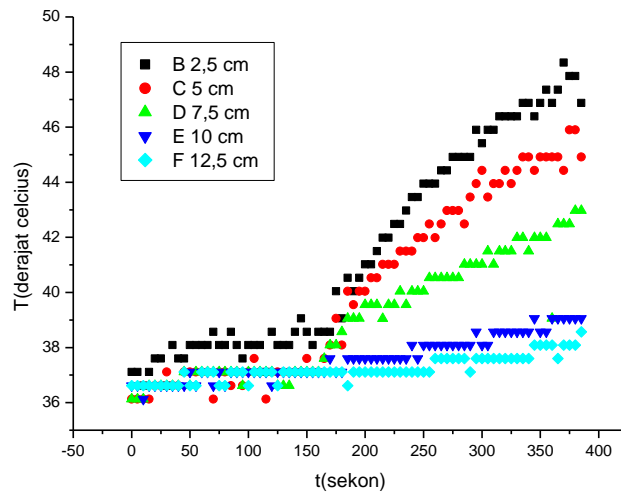
Gambar 48. Grafik distribusi suhu terhadap waktu untuk gabah basah

Grafik Suhu Terhadap Waktu pada Gabah Basah Kering



Gambar 49. Grafik distribusi suhu terhadap waktu untuk gabah basah kering

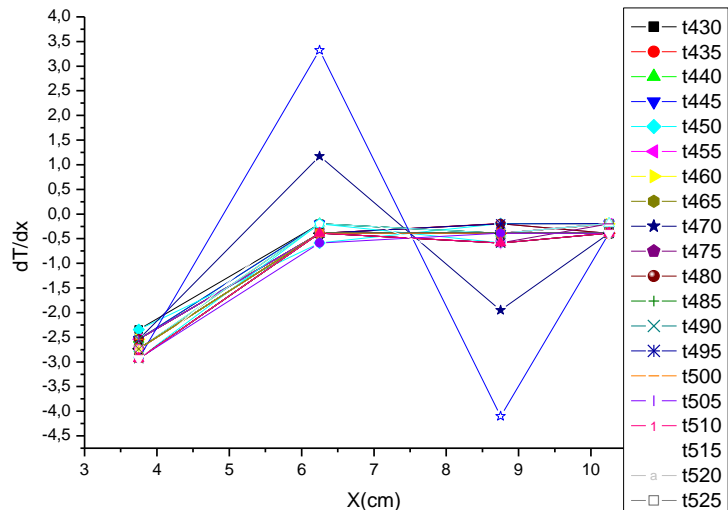
Grafik Suhu Terhadap Waktu pada Gabah Kering



Gambar 50. Grafik distribusi suhu terhadap waktu untuk gabah kering

Gambar 48, 49 dan 50 menunjukkan bahwa terjadi perubahan suhu pada titik-titik pengukuran dalam waktu (t) tertentu. Suhu semakin tinggi seiring dengan bertambahnya waktu. Suhu merambat dari titik B ke titik F, dengan suhu paling tinggi di titik B dan suhu paling rendah di titik F. Titik B adalah titik penempatan sensor suhu yang paling dekat dengan pemanas dengan jarak 2,5 cm, sedangkan titik F adalah titik penempatan sensor suhu yang paling jauh dengan pemanas dengan jarak 12,5 cm dari pemanas. Setelah mengetahui pola distribusi suhu pada gabah dilakukan *plotting* data hasil perhitungan gradien suhu terhadap posisi pada t tertentu sebagai berikut:

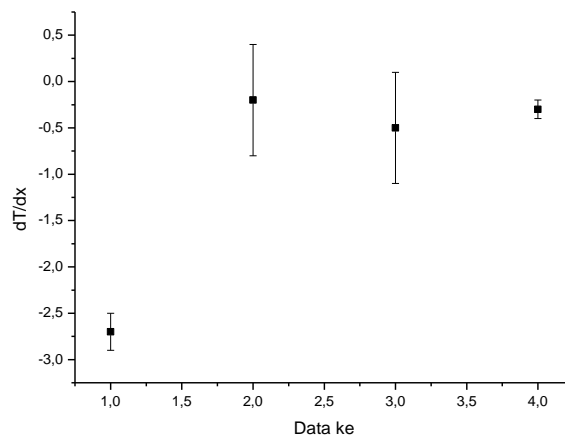
Grafik Suhu Terhadap Posisi pada Gabah Basah



Gambar 51. Grafik suhu terhadap posisi pada t (430-625) sekon untuk gabah basah

Gambar 51 menunjukkan bahwa terjadi gradien suhu pada posisi 3,75 cm sampai 10,25 cm. Perhitungan $\frac{dT}{dx}$ menghasilkan empat kelompok data. Setiap kelompok data kemudian dirata-rata dengan hasil sebagai berikut: $(-2,7 \pm 0,2)^\circ\text{C}/\text{cm}$, $(-0,2 \pm 0,6)^\circ\text{C}/\text{cm}$, $(-0,5 \pm 0,6)^\circ\text{C}/\text{cm}$ dan $(-0,3 \pm 0,1)^\circ\text{C}/\text{cm}$. Keempat data tersebut kemudian dilakukan uji diskripansi dan dirata-rata berbobot:

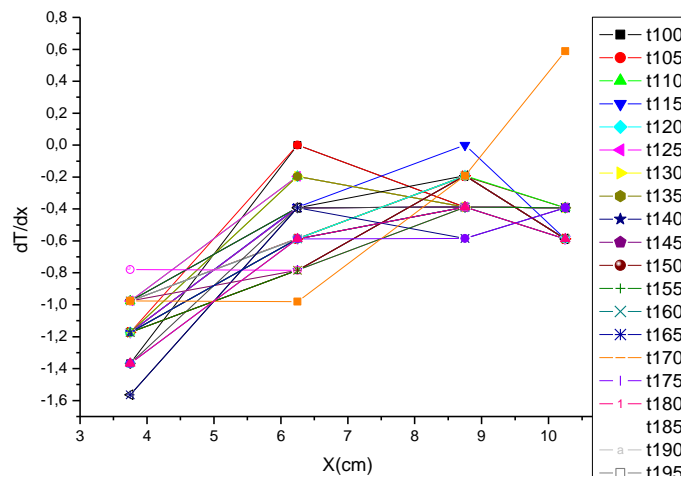
Grafik uji diskripansi nilai gradien suhu



Gambar 52. Grafik uji diskripansi nilai gradien suhu pada gabah basah

Dari grafik uji diskripansi dapat dilihat bahwa data pertama tidak saling tumpang tindih (*overlap*) dengan data lainnya, sehingga data 1 dapat dihilangkan dari perhitungan rata-rata berbobot. Setelah dilakukan rata-rata berbobot maka diperoleh hasil akhir nilai gradien suhu gabah basah adalah $\left(\frac{dT}{dx} \pm \Delta \frac{dT}{dx}\right) = (-0,30 \pm 0,09) \text{ } ^\circ\text{C/cm}$. Setelah dimasukkan ke dalam persamaan (25) maka diperoleh nilai konduktivitas gabah basah sebesar $(188,30690 \pm 0,00003) \times 10^{-5} \text{ watt/cm}^0\text{C}$.

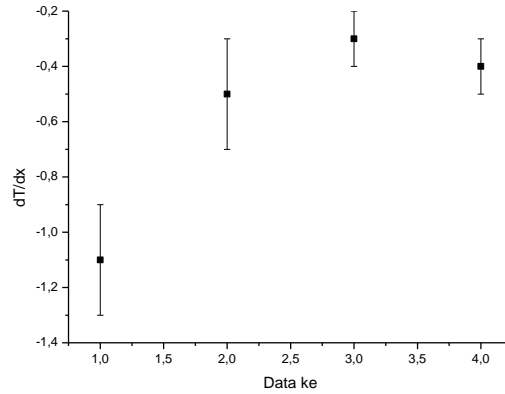
Grafik Suhu Terhadap Posisi pada Gabah Basah/Kering



Gambar 53. Grafik suhu terhadap posisi pada t (100-295) sekon untuk gabah basah kering

Gambar 53 menunjukkan bahwa terjadi gradien suhu pada posisi 3,75 cm sampai 10,25 cm. Hasil rata-rata $\frac{dT}{dx}$ pada gabah basah/kering menghasilkan empat kelompok data yaitu: $(-1,1 \pm 0,2) \text{ } ^\circ\text{C/cm}$, $(-0,5 \pm 0,2)^\circ\text{C/cm}$, $(-0,3 \pm 0,1) \text{ } ^\circ\text{C/cm}$ dan $(-0,4 \pm 0,1)^\circ\text{C/cm}$. Keempat data tersebut kemudian dilakukan uji diskripansi dan dirata-rata berbobot:

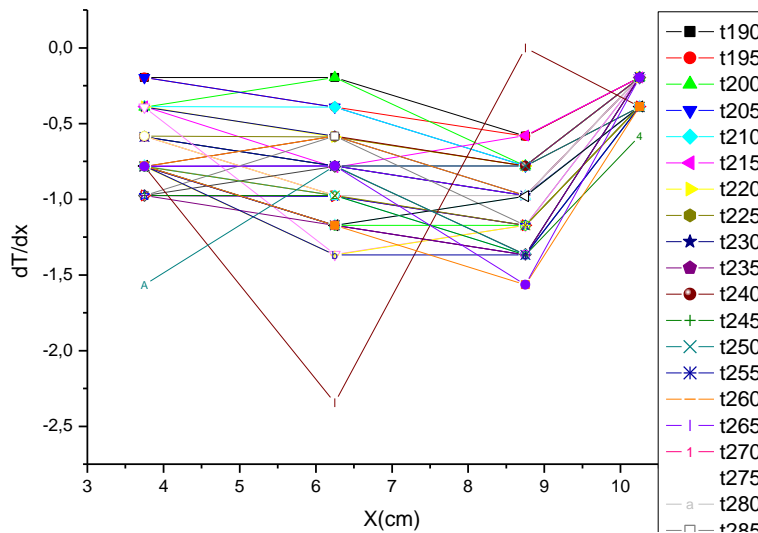
Grafik uji diskripsi nilai gradien suhu



Gambar 54. Grafik uji diskripsi nilai gradien suhu pada gabah basah/kering

Berdasarkan Gambar 54, tidak terjadi *overlap* pada data pertama, sehingga data 1 dapat dihilangkan dari perhitungan rata-rata berbobot. Gradien suhu gabah basah/kering dari perhitungan rata-rata berbobot adalah $\left(\frac{dT}{dx} \pm \Delta \frac{dT}{dx}\right) = (-0,36 \pm 0,06) ^\circ\text{C}/\text{cm}$. Kemudian dimasukkan ke dalam persamaan (25) maka diperoleh nilai konduktivitas gabah basah/kering sebesar $(155,42080 \pm 0,00001) \times 10^{-5} \text{ watt}/\text{cm}^\circ\text{C}$.

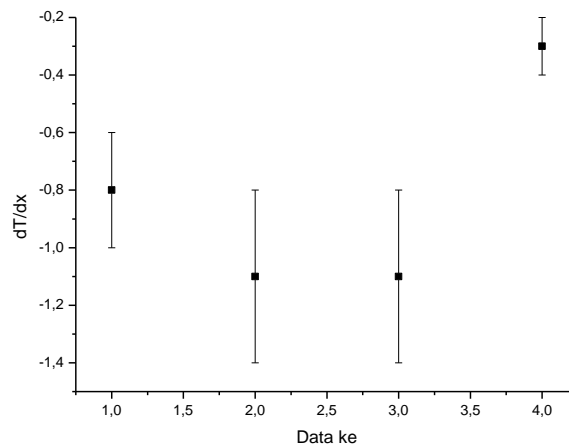
Grafik Suhu Terhadap Posisi pada Gabah Kering



Gambar 55. Grafik suhu terhadap posisi pada t (190-385) sekon untuk gabah kering

Gambar 55 menunjukkan bahwa terjadi gradien suhu pada posisi 3,75 cm sampai 10,25 cm. Rata-rata $\frac{dT}{dx}$ menghasilkan empat kelompok data yaitu : $(-0,8 \pm 0,2) \text{ }^\circ\text{C/cm}$, $(-1,1 \pm 0,3)^\circ\text{C/cm}$, $(-1,1 \pm 0,3) \text{ }^\circ\text{C/cm}$ dan $(-0,3 \pm 0,1)^\circ\text{C/cm}$. Keempat data tersebut kemudian dilakukan uji diskripansi dan dirata-rata berbobot:

Grafik uji diskripansi gradien suhu



Gambar 56. Grafik uji diskripansi nilai gradien suhu pada gabah kering

Dari grafik uji diskripansi dapat dilihat bahwa tidak terjadi *overlap* pada data keempat, sehingga data 4 dapat dihilangkan dari perhitungan rata-rata berbobot. Setelah dilakukan rata-rata berbobot maka diperoleh hasil akhir nilai gradien suhu gabah kering adalah $\left(\frac{dT}{dx} \pm \Delta \frac{dT}{dx}\right) = (-0,9 \pm 0,1) \text{ }^\circ\text{C/cm}$. Setelah dimasukkan ke dalam persamaan (25) maka diperoleh nilai konduktivitas gabah kering sebesar $(150,363126 \pm 0,000005) \times 10^{-5} \text{ watt/cm}^0\text{C}$.

Nilai konduktivitas gabah jika dibandingkan dengan hasil pengukuran sebelumnya yang dilakukan oleh Putra (1990) yaitu dengan kadar air berkisar

dari (10,1-19,6)% diperoleh konduktivitas gabah berkisar antara (0,104 – 0,122)watt/m⁰C dan penelitian sebelumnya oleh Moritha dan Singh (1979) diperoleh konduktivitas gabah berkisar antara (0,113 – 0,122)watt/m⁰C. Sedangkan dalam penelitian ini diperoleh konduktivitas gabah berkisar antara (0,150 – 0,188)watt/m⁰C; terdapat perbedaan hasil pengukuran konduktivitas gabah. Hal ini dapat disebabkan karena kandungan air pada gabah dalam penelitian ini lebih banyak, sehingga nilai konduktivitas gabah yang diperoleh lebih besar dari penelitian sebelumnya.

Dalam penelitian ini gabah mengalami tiga keadaan yaitu gabah basah, basah/kering dan kering. Variasi keadaan gabah tersebut menunjukkan perbedaan jumlah air yang terkandung di dalam gabah. Dengan bertambahnya kandungan air dalam gabah, maka konduktivitas gabah juga semakin besar. Hal ini disebabkan air mempunyai konduktivitas panas yang besar, sehingga dengan meningkatnya kandungan air akan menyebabkan kenaikan konduktivitas panas.

2. Pengukuran Panas Jenis Gabah

Pengukuran panas jenis gabah menggunakan metode campuran karena metode ini sederhana dan umum digunakan pada bahan hasil pertanian yang berbentuk biji-bijian. Metode campuran menggunakan prinsip keseimbangan panas yaitu panas yang diberikan oleh bahan sama dengan panas yang diterima oleh sistem di dalam kalorimeter. Pengambilan data diulang sebanyak tiga kali untuk setiap variasi keadaan gabah (basah, basah/kering dan kering):

Tabel 4. Data hasil pengukuran panas jenis gabah dalam keadaan basah

Parameter	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
Massa air m_1	116,1 g	116,1 g	116 g
Suhu air T_1	28 °C	28 °C	28 °C
Massa gabah m_2	29,7 g	29,7 g	29,7 g
Suhu gabah T_2	50 °C	55 °C	55 °C
Suhu campuran T_f	31 °C	32 °C	32 °C

Tabel 5. Data hasil pengukuran panas jenis gabah dalam keadaan basah/kering

Parameter	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
Massa air m_1	116,2 g	116,1 g	116 g
Suhu air T_1	28 °C	28 °C	28 °C
Massa gabah m_2	27,2 g	27,2 g	27,2 g
Suhu gabah T_2	41 °C	55 °C	60 °C
Suhu campuran T_f	31 °C	31 °C	31 °C

Tabel 6. Data hasil pengukuran panas jenis gabah dalam keadaan kering

Parameter	Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3
Massa air m_1	106 g	106,3 g	106 g
Suhu air T_1	27°C	27 °C	27 °C
Massa gabah m_2	25,7 g	25,7 g	25,7 g
Suhu gabah T_2	70 °C	70 °C	71 °C
Suhu campuran T_f	33 °C	31 °C	31 °C

Data hasil pengukuran tersebut kemudian dianalisis menggunakan persamaan

(91) yang dapat ditulis kembali:

$$c_b = \frac{m_a c_a (T_f - T_{ia})}{m_b (T_{ib} - T_f)}$$

dan ketidakpastiannya ditunjukkan oleh persamaan (151)

$$\Delta c_b = \sqrt{\left(\frac{\partial c_b}{\partial T_f} \Delta T_f\right)^2 + \left(\frac{\partial c_b}{\partial T_{ia}} \Delta T_{ia}\right)^2 + \left(\frac{\partial c_b}{\partial T_{ib}} \Delta T_{ib}\right)^2} \quad (151)$$

Dari ketiga variasi tersebut diperoleh tiga nilai panas jenis gabah. Kemudian dilakukan rata-rata berbobot sehingga diperoleh hasil berikut:

Tabel 7. Data nilai panas jenis gabah berbagai keadaan

Basah	Basah/Kering	Kering
$(0,6 \pm 0,2) \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$	$(0,5 \pm 0,2) \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$	$(0,5 \pm 0,2) \text{ kal/g } ^\circ\text{C}$

Gabah dalam keadaan basah mempunyai nilai panas jenis paling besar dibandingkan dengan gabah dalam keadaan kering dan basah/kering. Hal ini disebabkan karena air mempunyai nilai panas jenis yang besar, sedangkan pada gabah basah mengandung air lebih banyak, sehingga semakin banyak kandungan air dalam gabah, maka semakin tinggi nilai panas jenisnya.

3. Distribusi Suhu Gabah dalam Tabung Pengering

Pola distribusi suhu gabah dianalisis menggunakan sistem koordinat silinder karena pengering menggunakan drum berbentuk silinder. Terdapat sumber pemanas di dalam tabung, maka ditambah satu suku sebagai suku sumber panas. Sehingga persamaan panas tabung pengering seperti pada persamaan (38) yaitu:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{a^2} \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{g_0}{k}$$

Silinder yang digunakan mempunyai panjang 70 cm dan diameter 44 cm.

Suhu ruang di dalam tabung dijaga konstan yaitu 50°C. Solusi persamaan distribusi panas gabah dengan menggunakan sistem koordinat silinder adalah persamaan (87) yang dapat ditulis kembali yaitu:

$$\begin{aligned}
u(r, z, t) = & \frac{4g_0}{k\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{k_m J_1(k_m) \left(n + \frac{1}{2}\right)} \frac{J_0\left(\frac{k_m}{b} r\right) \cos\left(\frac{(n+1/2)\pi}{l} z\right)}{\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2} \\
& + \frac{4T}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{k_m J_1(k_m) (n + 1/2)} J_0\left(\frac{k_m}{b} r\right) \cos\left(\frac{(n + 1/2)\pi}{l} z\right) \\
& e^{-a^2 \left(\left(\frac{k_m}{b}\right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l}\right)^2\right) t}
\end{aligned}$$

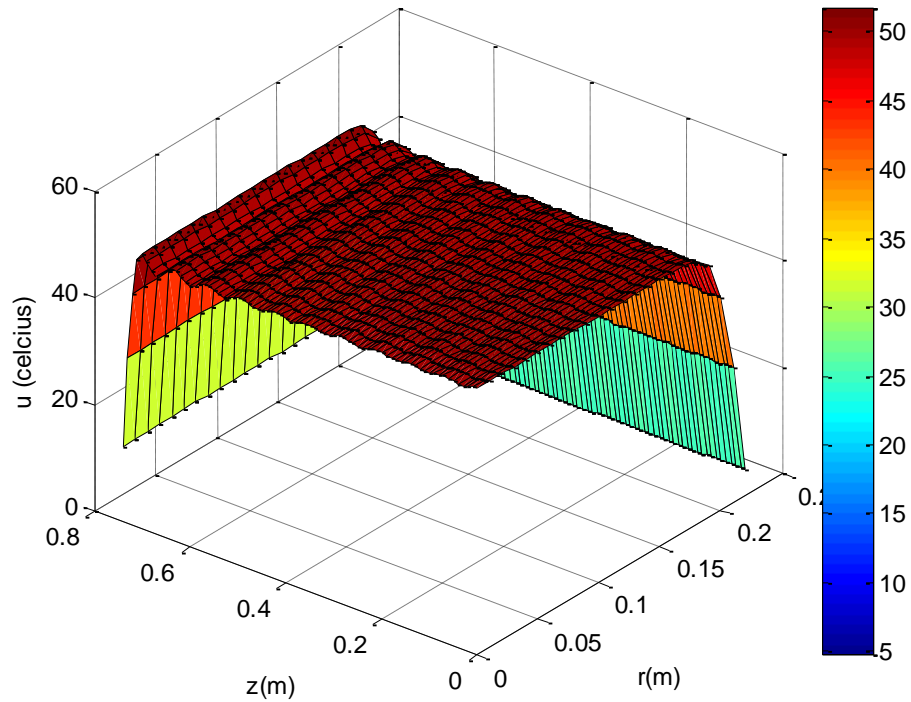
dengan g_0 adalah panas per satuan waktu per satuan volume, k adalah konduktivitas gabah dan α adalah konstanta difusivitas gabah dengan hasil ditunjukkan oleh Tabel 8.

Tabel 8. Data hasil pengukuran konduktivitas, kapasitas panas, massa jenis dan konstanta difusivitas gabah.

Besaran yang diukur	Gabah		
	Basah	Basah/Kering	Kering
$k(\text{W}/\text{m}^0\text{C})$	0,188	0,155	0,150
$c(\text{kJ}/\text{kg}^0\text{C})$	2,72	2,026	1,959
$\rho(\text{kg}/\text{m}^3)$	539	523	469
$\alpha(\text{m}^2/\text{s})$	$1,28 \times 10^{-4}$	$1,46 \times 10^{-4}$	$1,64 \times 10^{-4}$

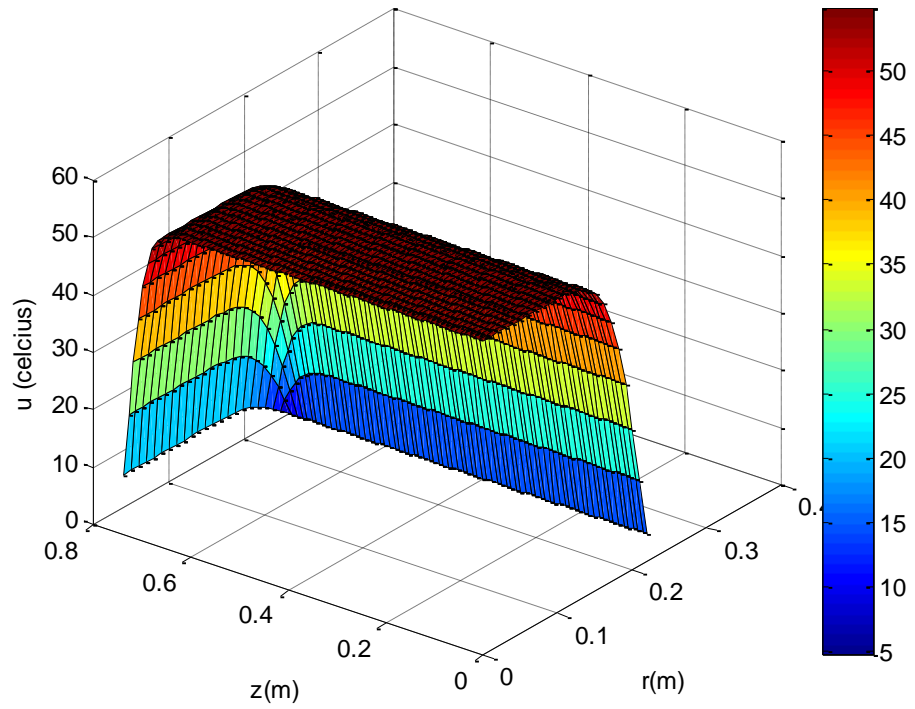
Gabah dalam keadaan basah mempunyai nilai panas jenis paling besar dibandingkan dengan gabah dalam keadaan kering dan basah/kering. Hal ini berarti energi yang diserap dan digunakan untuk menaikkan suhu gabah basah jumlahnya lebih besar, sehingga energi yang berpindah lebih sedikit. Nilai konstanta difusivitas paling besar dihasilkan oleh gabah dalam keadaan kering. Hal ini berarti bahwa panas mengalir paling cepat pada gabah dalam keadaan kering. Semakin besar α menyebabkan semakin cepat panas mengalir.

Dengan memasukkan konstanta-konstanta tersebut ke dalam persamaan (87) maka pola distribusi suhu gabah di dalam tabung pengering ditunjukkan oleh Gambar 57:



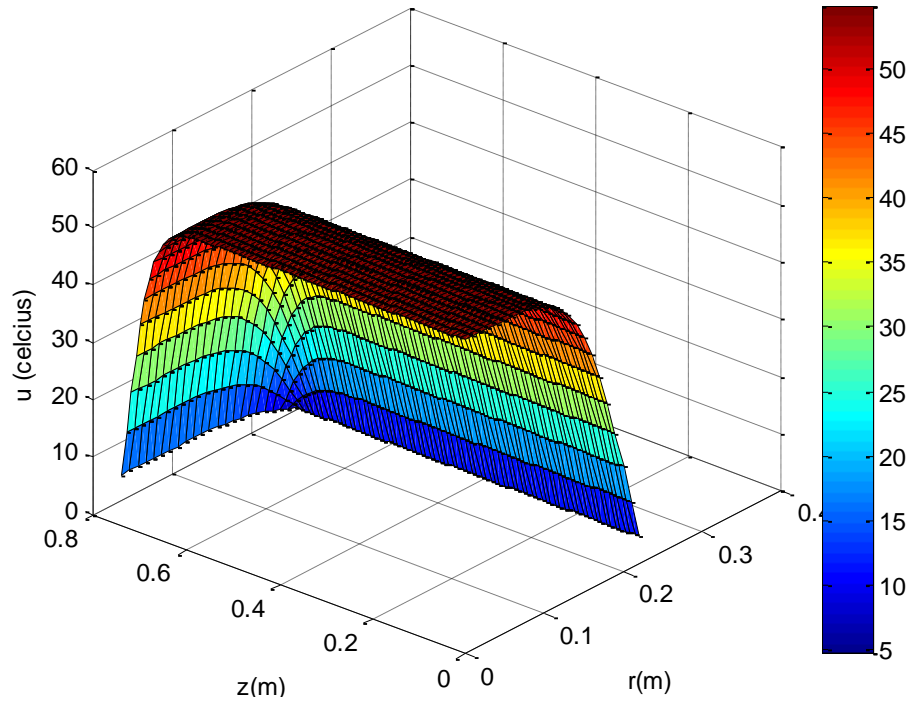
Gambar 57. Distribusi suhu menit ke-1

Gambar 57 menunjukkan bahwa semakin jauh posisi r dan z dari pusat koordinat, suhu gabah semakin rendah. Terlihat bahwa terjadi fluktuasi panas dari titik 0,0 sampai titik terjauh. Hal ini dikarenakan penjumlahan solusi *steady-state* dengan solusi *transient*.



Gambar 58. Distribusi suhu menit ke-5

Setelah 5 menit distribusi suhu gabah dalam tabung pengering terlihat seperti pada Gambar 58. Fluktuasi suhu sudah tidak terlihat. Tampak suhu yang terus turun ketika nilai r dan z semakin mendekati kulit dan tutup tabung pengering.



Gambar 59. Distribusi suhu menit ke-10

Sama halnya dengan menit ke-5, pada menit ke-10 fluktuasi sudah tidak terlihat. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai solusi *transient* semakin kecil dan semakin tidak berpengaruh pada distribusi suhu gabah. Pada solusi transient persamaan (87) terdapat suku eksponensial, yaitu:

$$e^{-a^2 \left(\left(\frac{km}{b} \right)^2 + \left(\frac{(n+1/2)\pi}{l} \right)^2 \right) t}$$

Akibat pangkat eksponensial yang bernilai negatif, saat t semakin besar nilai eksponensial akan semakin kecil dan mendekati nol. Gambar 59 menunjukkan bentuk bagian *steady-state*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Diagram blok sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah tersusun atas blok sensor suhu LM 35DZ 1, blok sensor suhu LM 35DZ 2, blok potensiometer, blok mikrokontroler, blok *optocoupler*, blok transistor, blok *relay*, blok motor AC, blok pengaduk dan blok proses pengadukan.
2. Fungsi transfer sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah adalah perbandingan antara *output* alat pengering gabah yang berupa suhu gabah dengan *input* berupa pergeseran potensiometer.
3. Distribusi suhu gabah dalam tabung pengering mengikuti bentuk tabung pengering yang berupa silinder. Pola distribusi suhu gabah menunjukkan bahwa suhu mengalami penurunan disertai dengan fluktuasi dari sumber panas sampai kulit dan tutup tabung pengering. Seiring dengan bertambahnya waktu, fluktuasi semakin berkurang sehingga distribusi suhu gabah menunjukkan pola *steady-state*.

B. Saran

Sistem kontrol pengaduk pada alat pengering gabah yang dibuat dalam penelitian ini masih banyak kekurangan, sehingga perlu perbaikan agar alat pengering gabah ini nantinya dapat bekerja lebih baik. Perbaikan yang perlu dilakukan adalah:

1. Bentuk dari pengaduk pada alat pengering gabah diganti dengan model pengaduk yang lebih tepat agar kapasitas alat pengering dapat lebih banyak lagi.
2. Sistem keluaran gabah diperbaiki agar pengeluaran gabah lebih mudah dan tidak bocor apabila terjadi pengadukan gabah.
3. Pemanas diletakkan sejajar di bagian atas semua karena jika pemanas yang di bawah mengenai gabah, akan menyebabkan gabah menjadi gosong.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmel 8-Bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash Datasheet*. Diakses dari www.freedatasheets.com/downloads/ATmega8.pdf, pada tanggal 4 November 2016, 19.30 WIB.
- Boas, Mary L. 2006. *Mathematical Methods in The Physical Sciences*. 3rd. Ed. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Bolton, William 2006. *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*, diterjemahkan oleh Soni Astranto. Jakarta: Erlangga.
- Duffy, Dean G. 2003. *Advance Engineering Mathematics With Matlab*. 2nd. Ed. New York: Chapman and Hall/CRC.
- Fatimah. N.H., Kusnanto Mukti W. dan Edi Prasetyo. 2012. Pendeteksi Kebakaran dengan Menggunakan Sensor Suhu LM35. *Makalah*. Surakarta: FMIPA Universitas Sebelas Maret.
- Gunawan, Ivan Aditya, Aulia R.M. dan Siswo Sumardiono. 2013. Pengeringan Gabah Dengan Menggunakan Pengering Resirkulasi Kontinyu Tipe Konveyor Pneumatik. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* (No.3). Hlm 98-109.
- Hahn, David W. dan M. Necati Ozisik. 2012. *Heat Conduction 3rd Edition*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Holman, J.P. 1991. *Perpindahan Kalor, Edisi Keenam*. Jakarta: Erlangga.
- Malvino. 1994. *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Jakarta: Erlangga.
- Mandal, Ajit K. 2006. *Introduction to Control Engineering Modeling, Analysis, and Design*. New Delhi: New Age International (P) Ltd, Publisher.
- Ogata, Katsuhiko. 2004. *System Dynamics*. 4th. ed. New Jersey: Person Education, Inc.
- Ogata, Katsuhiko. 1996. *Modern Control Engineering (Teknik Kontrol Automatik)*. (Alih bahasa: Edi Laksono). Jakarta : Erlangga.
- Putra, Bambang Panca. 1990. Menentukan Panas Jenis dan Konduktivitas Panas Gabah (*Oriza satifa L.*), Jagung (*Zea mays L.*) dan Kedelai (*Glycine max L.*). *Skripsi*. Bogor: IPB.
- Risharyanto. 2005. Pengaruh Reflektor Terhadap Karakteristik Pengeringan dan Kualitas Produk pada Model Pengering Gabah Sistem Radiasi Infra Merah. *Tugas Akhir*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Riska, Listiyana, Rahim Arlanta S. dan Siswo Sumardiono. 2013. Studi Eksperimental Alat Peningkat Gabah Sistem Resirkulasi Kontinyu Tipe Konveyor Pneumatik. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri* (No.2). Hlm 122-129.

Saklar Sentuh. Diakses dari <http://sulihan.blogspot.co.id/2012/05/saklar-sentuh.html>, pada tanggal 17 September 2016, 14.15 WIB.

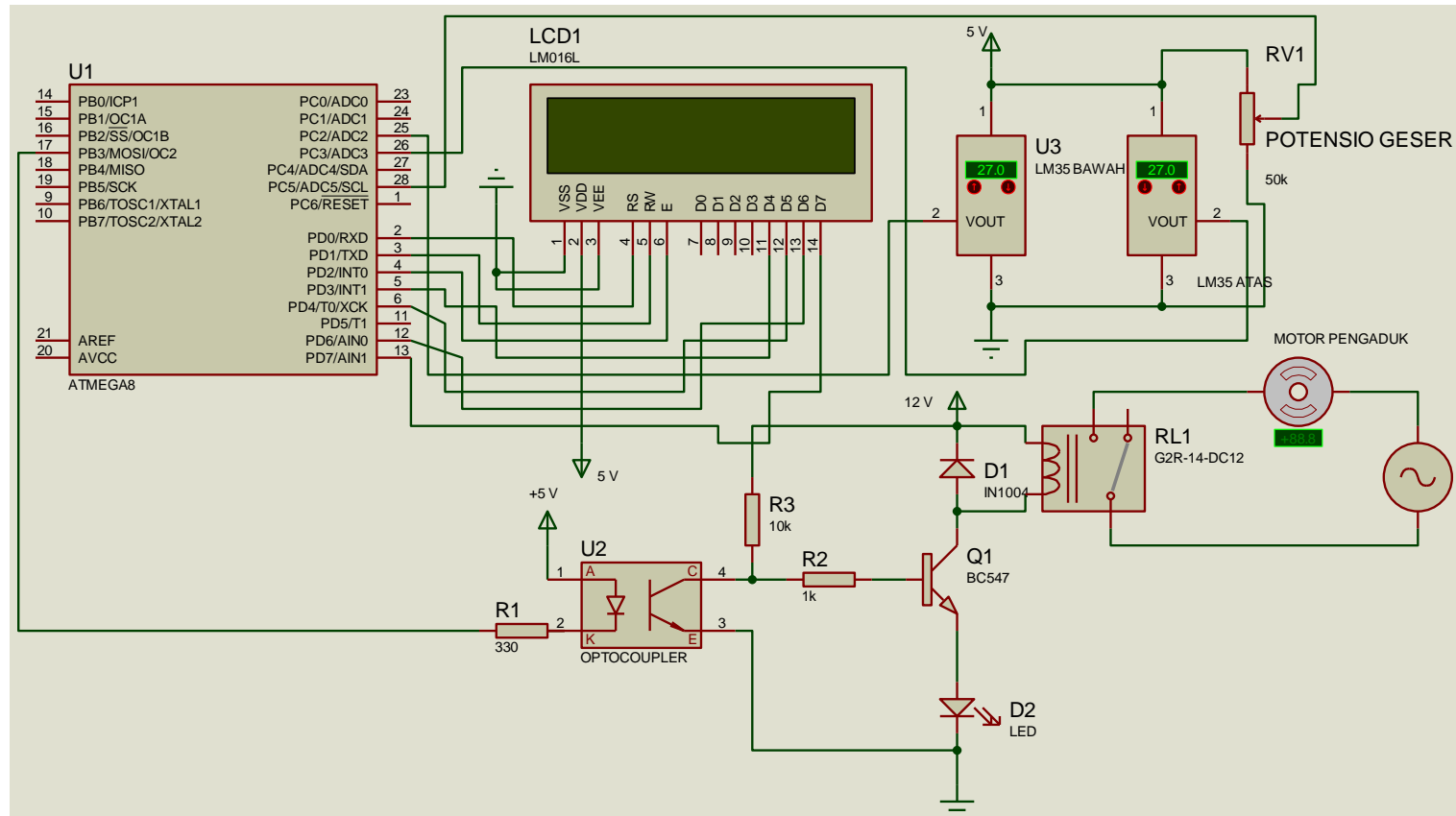
Sensor optocoupler. Diakses dari <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/46734/4/Chapter%20II.pdf>, pada tanggal 17 september 2016, 15.09 WIB.

Setiawan, Candra Aan. 2007. Sistem Kendali Rangkaian Listrik Menggunakan PC Melalui Port Paralel. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

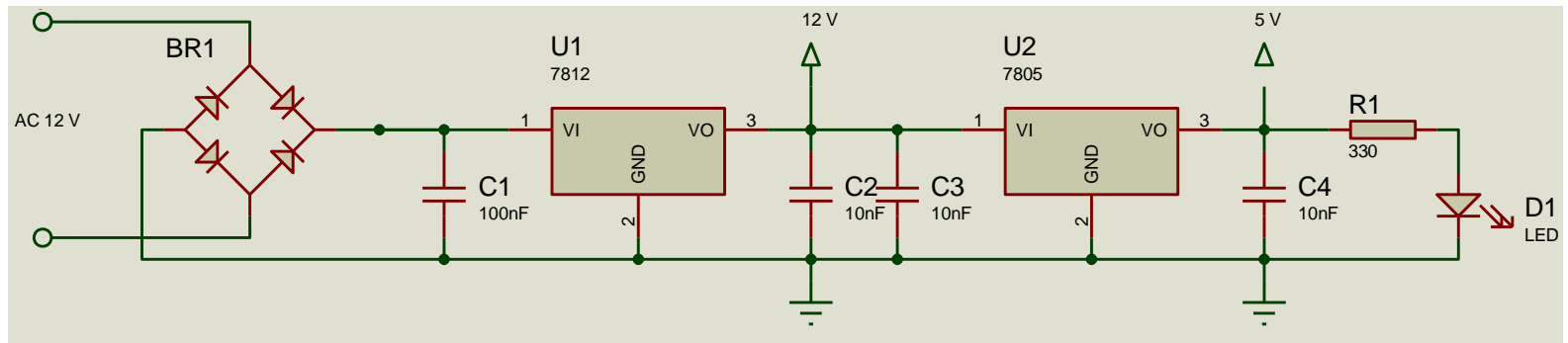
Tipler, Paul A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik, Jilid 1(Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.

LAMPIRAN

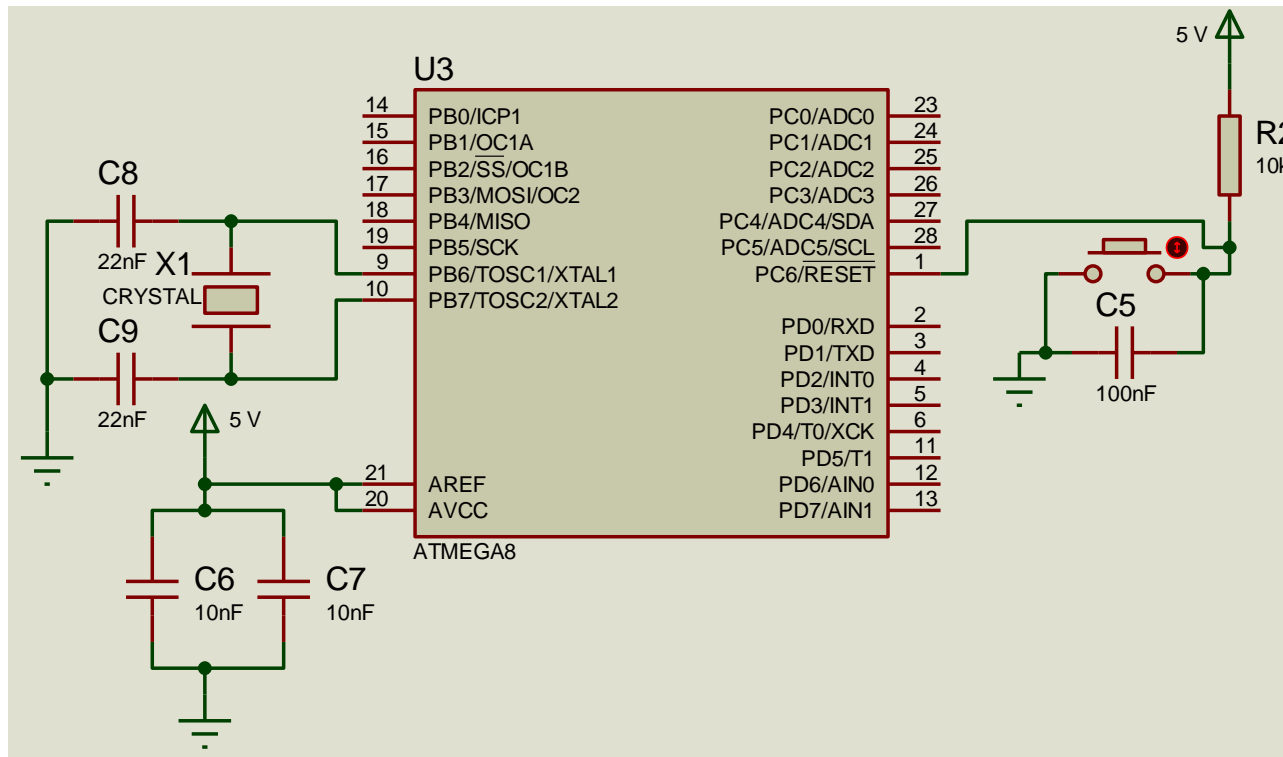
Lampiran 1. Rangkaian listrik sistem kontrol pengaduk



Gambar 60. Rangkaian listrik sistem kontrol pengaduk



Gambar 61. Rangkaian power supply



Gambar 62. Rangkaian system minimum ATMEGA 8

Lampiran 2. Data pengukuran distribusi suhu gabah atas dan bawah dengan variasi massa gabah

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
0	30,27	28,32	40,57	36,17	150	31,74	30,76	32,75	27,86
5	24,41	26,37	36,66	30,30	155	21,97	24,90	37,15	36,66
10	26,37	23,44	36,66	38,61	160	27,34	28,81	30,30	30,79
15	28,81	23,44	41,06	29,33	165	31,25	27,34	31,77	26,88
20	30,76	30,76	42,03	34,70	170	29,3	30,76	39,59	33,24
25	22,95	21,97	42,52	28,84	175	21,48	27,34	37,15	30,3
30	26,86	19,53	36,17	37,63	180	27,83	23,44	38,61	38,61
35	25,39	23,44	31,77	31,77	185	32,23	30,76	31,77	37,63
40	22,95	22,46	42,03	39,10	190	28,81	24,9	37,15	36,66
45	21,00	30,27	38,61	37,63	195	31,74	30,76	38,61	27,37
50	27,34	29,30	40,57	38,61	200	32,71	25,88	39,59	34,7
55	21,48	25,39	41,06	34,70	205	26,37	29,3	41,06	37,15
60	23,44	25,39	32,75	28,84	210	24,9	22,95	38,61	37,15
65	21,00	19,53	38,12	38,61	215	30,76	21	31,28	38,61
70	30,76	26,86	38,61	30,79	220	32,71	30,76	40,57	30,3
75	28,32	25,88	31,28	30,30	225	31,74	30,27	43,01	27,37
80	27,34	30,76	36,17	38,61	230	32,71	30,27	40,57	39,59
85	28,81	20,51	32,75	34,21	235	31,25	28,81	32,75	25,42
90	28,81	30,76	32,75	36,66	240	32,71	30,76	38,12	30,79
95	24,90	22,46	42,52	27,37	245	30,76	23,44	38,61	27,37
100	27,34	17,09	37,15	28,84	250	33,2	31,74	34,7	35,68
105	27,34	24,41	40,57	34,70	255	29,79	31,74	43,01	39,59
110	30,76	24,90	34,70	33,72	260	24,9	24,9	34,7	38,61
115	30,76	26,86	32,75	38,61	265	22,46	24,9	43,01	36,66
120	31,25	29,30	35,19	27,37	270	32,71	17,58	38,61	28,84
125	22,46	26,37	38,61	30,30	275	33,2	31,25	39,1	34,7
130	21,48	20,02	31,28	33,24	280	29,3	26,37	34,21	32,75
135	29,30	30,27	37,15	26,39	285	33,69	31,25	43,01	39,1
140	31,74	24,90	36,17	29,33	290	26,37	17,58	34,7	36,17
145	32,23	29,30	40,57	33,24	295	33,2	31,25	32,75	31,28

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
300	24,41	23,44	32,75	28,84	465	35,64	22,46	39,59	38,12
305	31,74	30,27	35,19	34,70	470	36,62	33,69	32,75	31,28
310	34,18	19,53	41,06	31,77	475	37,11	33,69	34,70	38,12
315	34,67	27,83	39,10	27,37	480	36,62	32,71	44,48	34,70
320	34,18	31,25	34,70	31,77	485	37,11	33,20	42,03	31,77
325	33,69	31,74	34,70	31,77	490	37,11	33,20	40,57	34,70
330	29,30	19,04	32,26	30,79	495	37,11	34,18	41,54	37,15
335	33,20	27,83	30,79	30,30	500	37,11	33,20	41,06	37,15
340	34,18	30,76	41,06	37,15	505	37,11	34,18	36,17	40,57
345	34,67	31,74	39,10	32,26	510	38,09	34,18	43,01	40,57
350	34,18	31,25	33,24	35,19	515	37,11	33,20	40,57	32,75
355	29,30	31,74	33,24	27,37	520	37,11	34,18	37,15	26,88
360	30,27	27,34	32,75	29,33	525	37,11	34,18	43,01	31,77
365	34,67	27,34	37,63	33,24	530	37,60	34,18	44,97	29,33
370	32,71	32,71	34,70	27,37	535	37,11	34,18	43,50	30,30
375	32,71	29,79	35,68	38,61	540	37,60	34,67	44,97	31,77
380	34,67	29,30	35,68	27,37	545	37,60	34,67	44,48	32,75
385	34,67	31,74	37,15	37,15	550	38,09	34,67	37,63	38,61
390	35,16	31,74	34,70	34,70	555	38,57	34,67	37,15	38,12
395	34,67	32,71	40,57	35,19	560	38,57	34,67	42,52	31,28
400	24,90	20,02	37,15	30,79	565	39,06	34,67	43,01	37,15
405	35,64	32,71	32,75	29,33	570	40,53	34,67	42,03	38,61
410	35,16	32,71	38,61	38,61	575	40,53	35,16	45,45	40,57
415	35,16	32,71	32,75	38,12	580	40,53	36,13	43,01	38,61
420	35,64	32,71	43,01	29,33	585	39,55	36,62	44,48	39,10
425	35,64	32,71	38,61	34,21	590	40,04	37,11	39,59	31,77
430	35,64	32,71	38,61	34,21	595	40,53	37,11	42,03	39,59
435	35,64	33,20	34,70	30,30	600	40,04	36,13	44,48	38,12
440	31,74	21,97	43,01	28,84	605	40,53	36,62	43,50	38,12
445	36,13	33,69	34,70	31,77	610	40,53	37,11	46,43	40,57
450	36,62	33,20	43,01	30,79	615	40,53	37,11	44,97	25,42
455	35,64	33,20	43,01	29,33	620	40,53	37,11	44,97	38,61
460	25,88	30,27	43,01	38,12	625	40,53	37,11	44,48	34,21

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
630	41,02	37,11	44,97	37,15	795	40,53	36,62	44,48	39,59
635	40,53	36,62	43,01	32,75	800	41,99	30,76	45,94	35,68
640	40,04	35,64	43,01	32,75	805	41,02	36,13	44,48	39,59
645	40,53	36,62	41,06	35,68	810	33,20	34,18	44,48	39,59
650	40,04	35,64	39,10	37,63	815	30,76	34,18	44,48	38,61
655	40,53	35,64	41,54	34,70	820	41,99	34,18	43,50	39,10
660	39,55	36,62	45,94	39,10	825	40,53	34,18	43,99	39,10
665	39,55	36,13	44,97	38,61	830	38,57	33,20	44,48	39,10
670	40,04	35,64	44,48	39,10	835	41,02	37,11	44,48	40,08
675	40,53	36,13	43,50	38,12	840	40,53	36,62	39,59	39,10
680	40,53	36,62	44,97	37,15	845	41,99	37,11	43,50	30,79
685	40,04	37,11	44,48	39,10	850	41,99	38,09	44,97	39,10
690	40,04	36,13	39,59	38,61	855	42,48	37,11	42,03	37,15
695	40,53	37,11	46,43	39,59	860	39,55	37,11	44,48	39,59
700	40,53	37,11	44,97	40,57	865	41,50	29,30	43,99	39,59
705	40,53	36,62	40,57	39,10	870	41,99	37,60	43,50	38,61
710	40,53	36,13	34,70	30,79	875	41,99	37,11	43,50	40,08
715	40,53	35,64	44,97	39,59	880	42,48	38,09	44,48	39,59
720	40,53	36,62	44,97	37,63	885	42,48	38,09	43,50	39,59
725	40,04	36,13	44,97	38,61	890	42,48	38,09	44,48	40,57
730	40,04	36,13	44,48	28,84	895	34,18	29,79	44,97	39,10
735	40,53	36,62	45,94	40,57	900	41,99	38,57	44,48	39,10
740	30,76	33,20	44,97	38,61	905	41,99	37,60	43,50	40,57
745	38,09	34,18	38,61	28,84	910	40,53	37,60	44,48	40,08
750	34,67	32,71	43,01	37,15	915	42,48	37,60	44,97	38,61
755	38,57	23,44	44,48	40,57	920	41,99	38,09	43,99	38,61
760	34,18	32,71	43,01	37,15	925	41,99	38,09	42,52	38,12
765	34,67	30,27	44,97	40,57	930	42,48	38,09	44,97	39,59
770	40,53	29,30	44,48	40,57	935	42,48	38,09	40,57	38,61
775	33,69	35,16	44,48	39,59	940	42,48	38,57	43,01	30,30
780	39,06	27,34	44,48	38,61	945	42,48	37,60	44,48	41,06
785	39,55	32,71	40,57	34,70	950	42,97	38,09	43,50	39,10
790	38,57	31,74	43,50	39,10	955	42,48	38,57	44,97	39,59

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
960	42,48	38,09	44,48	39,59	1125	42,97	38,57	44,97	39,59
965	42,48	38,09	43,99	39,10	1130	42,48	38,09	44,48	40,08
970	42,97	38,09	43,50	40,57	1135	42,48	38,09	44,48	40,57
975	41,02	36,62	43,99	38,12	1140	42,48	38,09	44,48	40,08
980	41,99	37,60	43,50	39,10	1145	42,97	38,57	44,48	40,08
985	41,99	37,11	43,50	39,59	1150	42,97	38,57	42,03	40,08
990	42,48	37,11	43,50	39,59	1160	42,48	38,57	43,50	35,19
995	41,99	37,11	43,50	39,59	1165	41,99	38,09	43,01	40,57
1000	41,99	37,11	43,50	39,59	1170	42,48	37,60	41,54	34,21
1005	42,48	37,11	43,01	39,10	1175	42,48	38,09	43,99	39,10
1010	41,99	37,60	43,50	39,59	1180	42,48	38,09	41,06	39,59
1015	41,50	37,11	43,50	39,10	1185	42,48	38,57	44,48	40,57
1020	41,50	37,11	43,50	39,59	1190	42,48	38,09	44,97	39,59
1025	41,50	37,60	43,01	39,59	1195	41,99	37,11	43,99	39,59
1030	41,99	36,62	43,01	39,10	1200	41,99	37,11	42,52	40,57
1035	40,53	38,57	43,50	39,59	1205	41,99	38,09	43,01	32,75
1040	42,48	31,25	43,50	39,59	1210	41,50	38,09	41,06	33,24
1045	41,50	37,11	43,50	40,08	1215	41,99	37,60	41,06	40,57
1050	41,99	37,60	43,01	39,59	1220	41,99	38,57	41,54	38,61
1055	41,99	37,11	43,01	40,57	1225	41,99	37,11	43,50	39,59
1060	41,99	37,11	43,99	35,68	1230	41,02	38,09	43,50	39,59
1065	41,99	37,60	40,57	37,15	1235	41,99	38,09	43,50	40,08
1070	41,99	37,11	43,50	32,75	1240	41,99	37,11	43,50	40,08
1075	41,99	37,11	43,01	39,10	1245	41,02	37,11	41,06	40,57
1080	41,50	37,60	43,01	39,59	1250	41,99	38,09	34,70	31,28
1085	41,50	38,09	43,50	39,59	1255	41,99	38,57	34,70	38,61
1090	41,50	37,11	44,48	39,59	1260	41,02	37,11	34,70	26,39
1095	41,99	38,09	44,97	39,59	1265	41,02	38,09	43,50	39,10
1100	41,99	37,11	44,48	39,59	1270	41,99	37,11	43,01	39,59
1105	42,48	38,09	44,48	39,10	1275	41,50	38,09	43,01	39,10
1110	42,48	38,09	43,99	40,08	1280	41,99	38,57	41,54	30,79
1115	42,97	38,57	44,48	40,08	1285	42,97	38,09	43,50	39,59
1120	42,97	38,57	44,97	39,59	1290	42,97	38,57	43,01	39,59

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
1295	42,48	38,57	43,01	39,10	1460	42,48	38,57	43,50	39,59
1300	42,48	37,11	43,50	39,59	1465	42,48	38,57	43,50	40,08
1305	42,97	38,57	43,50	39,10	1470	41,99	38,57	43,50	39,59
1310	40,53	38,57	43,50	39,10	1475	41,99	38,57	43,50	39,59
1315	42,97	35,16	44,48	40,08	1480	42,97	38,09	43,50	40,08
1320	42,97	38,09	44,48	40,57	1485	42,48	38,57	43,01	39,59
1325	42,48	38,09	44,97	41,06	1490	42,48	38,09	42,52	39,59
1330	42,48	38,09	44,48	40,08	1495	41,99	38,57	43,50	40,08
1335	42,48	38,57	44,48	40,57	1500	42,97	38,57	43,01	39,59
1340	42,48	38,09	44,48	40,57	1505	42,48	38,57	35,19	35,19
1345	42,48	38,57	44,97	40,08	1510	41,99	38,57	42,52	31,28
1350	42,48	38,09	44,48	40,57	1515	42,48	38,57	43,50	40,08
1355	41,99	38,57	44,48	39,10	1520	41,99	38,57	43,99	39,59
1360	40,53	34,67	44,97	40,08	1525	42,97	38,57	43,50	40,08
1365	41,99	38,09	40,57	35,19	1530	42,97	38,57	44,48	39,59
1370	42,48	38,09	44,97	40,57	1535	42,48	38,57	44,48	39,59
1375	42,97	38,57	44,48	40,57	1540	42,48	38,57	44,48	40,08
1380	42,97	39,06	44,48	39,59	1545	42,97	38,09	44,48	40,08
1385	42,97	39,06	43,99	39,10	1550	42,97	39,55	44,97	39,59
1390	42,97	38,57	43,50	39,10	1555	42,97	39,06	44,97	40,57
1395	42,97	39,06	43,50	39,59	1560	42,97	39,55	44,97	39,59
1400	42,97	39,06	44,48	39,59	1565	42,97	39,55	44,97	40,57
1405	42,97	38,57	43,99	40,08	1570	42,97	39,55	44,97	40,57
1410	42,97	38,57	43,50	40,57	1575	42,97	39,06	44,97	40,57
1415	42,97	39,06	43,01	39,59	1580	42,97	39,55	44,97	40,57
1420	42,97	38,57	43,50	40,57	1585	42,97	39,06	44,97	40,57
1425	42,97	39,06	44,48	39,59	1590	42,97	39,55	44,48	39,59
1430	42,97	38,57	43,50	39,59	1595	42,48	43,46	44,97	39,59
1435	42,97	38,57	43,50	39,59	1600	42,97	38,57	44,97	39,59
1440	42,48	38,57	44,48	39,59	1605	42,97	39,06	44,48	40,57
1445	42,48	38,09	43,50	39,59	1610	42,97	38,57	44,97	40,57
1450	42,48	38,57	43,99	40,08	1615	42,48	38,57	44,48	40,57
1455	42,97	39,06	43,01	40,08	1620	42,97	39,06	44,48	40,57

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
1625	42,48	38,57	43,50	40,57	1790	42,48	38,57	44,97	40,08
1630	42,48	38,57	44,48	39,59	1795	42,48	38,57	44,97	40,08
1635	41,99	38,57	44,48	40,57	1800	42,48	38,57	44,97	40,57
1640	42,97	38,57	43,99	40,57	1805	42,97	38,57	44,97	39,59
1645	42,48	38,57	43,50	40,57	1810	42,97	38,57	44,97	40,57
1650	42,48	38,57	44,48	40,57	1815	42,48	39,06	44,97	40,57
1655	42,48	38,57	44,48	40,08	1820	42,48	38,57	44,97	39,59
1660	42,97	39,06	43,99	39,59	1825	42,48	38,57	44,97	39,10
1665	42,97	38,57	43,50	39,59	1830	42,97	38,57	44,48	40,57
1670	42,97	39,06	43,99	39,59	1835	42,97	38,57	44,97	40,57
1675	42,97	39,55	43,50	39,59	1840	42,97	38,57	43,99	40,57
1680	42,97	39,55	43,50	40,08	1845	43,46	39,55	44,48	39,10
1685	42,97	39,55	43,50	39,59	1850	42,97	39,06	43,50	40,08
1690	42,97	38,57	43,50	40,57	1855	42,97	38,57	44,48	40,57
1695	42,97	39,06	43,50	40,08	1860	42,97	39,06	43,50	39,59
1700	42,97	39,55	44,48	40,57	1865	43,46	39,06	41,54	41,06
1705	43,46	39,06	43,99	39,59	1870	42,97	39,55	38,61	32,75
1710	42,97	39,55	43,50	40,57	1875	42,97	39,55	44,48	40,08
1715	42,97	39,55	43,50	40,57	1880	43,46	39,55	44,48	40,57
1720	42,97	39,55	43,99	40,57	1885	42,97	39,55	44,48	40,08
1725	42,97	39,06	43,50	40,57	1890	42,97	39,55	44,48	40,57
1730	42,97	38,57	43,50	39,59	1895	42,97	39,06	41,06	40,57
1735	42,97	38,57	43,50	39,59	1900	42,97	39,06	39,59	26,88
1740	39,55	38,57	43,50	39,59	1905	42,97	38,57	44,48	40,57
1745	38,57	27,83	43,50	40,57	1910	42,97	39,06	43,50	40,57
1750	42,48	38,57	44,48	39,59	1915	42,97	39,06	43,50	39,59
1755	42,48	38,57	43,50	35,68	1920	42,97	38,57	43,99	40,57
1760	42,97	38,57	44,97	40,57	1925	41,02	38,57	43,99	40,08
1765	42,48	38,57	44,97	40,08	1930	42,97	38,57	43,99	40,57
1770	42,97	38,57	44,97	39,59	1935	42,48	39,06	44,48	39,59
1775	42,48	38,57	44,97	40,57	1940	42,48	38,57	43,50	40,08
1780	42,48	39,06	44,97	40,57	1945	42,97	39,06	44,48	40,08
1785	42,48	38,57	44,48	40,57	1950	42,48	38,57	40,57	38,61

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
1955	42,48	39,06	44,48	39,59	2120	42,97	39,06	43,01	37,15
1960	42,48	39,55	44,48	40,57	2125	42,48	39,06	44,48	40,57
1965	42,97	38,57	44,48	40,08	2130	42,48	39,06	41,06	39,59
1970	42,97	39,06	44,48	40,57	2135	42,97	38,57	43,01	34,70
1975	42,97	39,06	44,97	39,59	2140	42,97	38,57	44,48	40,57
1980	42,48	39,06	44,97	40,57	2145	42,97	39,06	37,63	32,26
1985	42,48	38,57	44,97	40,57	2150	42,97	38,57	44,97	36,66
1990	42,97	36,62	44,97	39,59	2155	42,97	38,57	44,48	40,57
1995	42,97	38,57	44,48	40,57	2160	42,97	39,06	38,61	31,28
2000	42,97	38,57	44,97	40,57	2165	42,97	39,06	43,50	40,08
2005	42,97	39,06	44,97	40,57	2170	42,48	39,06	44,48	40,57
2010	42,97	39,55	44,97	40,57	2175	42,97	38,57	44,48	42,03
2015	43,46	39,55	42,03	38,61	2180	42,97	39,55	37,15	33,24
2020	43,46	39,06	42,52	39,10	2185	43,46	39,55	44,97	40,57
2025	42,97	39,55	44,48	39,59	2190	42,97	40,04	46,43	38,61
2030	42,97	39,55	44,48	39,59	2195	42,97	39,55	43,01	37,15
2035	43,46	40,04	43,99	40,08	2200	43,46	40,04	45,94	30,30
2040	42,97	39,06	44,97	40,57	2205	43,46	40,04	38,12	37,15
2045	42,97	40,04	43,50	40,08	2210	42,97	40,53	42,03	38,61
2050	42,97	39,55	43,50	40,57	2215	43,46	39,55	43,50	32,75
2055	42,97	39,55	44,48	40,57	2220	42,97	39,55	40,57	38,12
2060	42,97	39,55	40,08	30,79	2225	41,02	40,53	44,48	40,08
2065	42,97	39,55	44,97	40,57	2230	36,62	36,13	37,15	34,70
2070	42,97	40,04	44,48	39,59	2235	42,48	31,25	45,94	31,77
2075	40,04	38,09	44,48	40,08	2240	42,97	39,55	44,48	40,57
2080	42,97	27,83	43,50	40,57	2245	42,97	39,06	43,01	40,08
2085	42,97	39,06	43,99	40,57	2250	42,97	39,06	43,01	39,10
2090	42,97	38,57	44,48	39,59	2255	42,97	39,06	46,43	42,03
2095	42,97	38,57	38,61	34,70	2260	42,97	38,57	43,01	40,57
2100	42,97	38,57	44,48	40,08	2265	42,97	39,06	42,52	39,59
2105	41,02	36,62	43,99	40,57	2270	42,97	39,06	44,97	34,70
2110	42,97	39,06	44,48	39,59	2275	42,97	39,06	45,45	40,08
2115	42,97	38,57	44,48	40,08	2280	42,97	39,06	44,97	40,57

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
2285	42,48	39,06	44,97	40,57	2450	42,97	39,06	43,50	40,08
2290	42,97	39,06	44,97	40,57	2455	42,97	38,57	43,50	40,08
2295	42,97	39,06	44,97	40,57	2460	42,97	38,57	44,48	40,57
2300	43,46	39,55	44,97	40,08	2465	42,97	39,55	43,50	39,59
2305	43,46	40,53	44,97	40,57	2470	43,46	39,55	44,48	40,57
2310	43,46	39,55	44,97	40,57	2475	43,46	39,06	43,50	40,57
2315	43,46	39,55	45,94	40,57	2480	43,46	396,00	43,50	40,57
2320	43,46	40,53	44,97	40,57	2485	42,97	40,53	44,48	40,57
2325	42,97	40,53	45,45	40,57	2490	43,95	40,53	44,48	40,57
2330	42,97	40,53	44,97	41,06	2495	43,46	39,55	44,48	40,57
2335	43,46	39,55	45,45	40,57	2500	43,46	40,53	43,50	40,57
2340	43,46	40,53	44,97	40,57	2505	43,46	40,53	43,50	40,57
2345	42,97	40,53	44,97	40,57	2510	43,95	39,55	44,48	40,57
2350	43,46	40,04	45,45	39,59	2515	42,97	40,53	44,97	40,57
2355	42,97	39,55	44,97	40,08	2520	43,46	40,53	44,48	40,57
2360	43,46	39,55	44,97	40,08	2525	43,46	40,53	44,97	40,57
2365	42,97	37,60	45,45	40,57	2530	43,46	40,53	44,97	40,57
2370	43,46	39,55	44,97	41,06	2535	42,97	40,04	44,97	41,06
2375	42,97	40,04	44,97	38,61	2540	42,97	38,09	44,97	40,57
2380	42,97	39,06	44,97	40,57	2545	42,97	39,06	44,97	40,57
2385	42,97	39,06	44,97	40,57	2550	42,97	39,55	44,97	40,57
2390	42,97	39,06	44,48	40,57	2555	42,97	39,55	44,97	40,57
2395	42,97	39,55	44,48	40,57	2560	42,97	39,06	44,97	40,57
2400	42,97	38,57	44,48	40,57	2565	42,97	40,53	44,97	40,57
2405	42,97	39,06	43,50	40,57	2570	42,97	40,04	44,97	40,57
2410	42,48	39,55	44,48	39,59	2575	42,97	39,06	44,97	41,06
2415	42,97	39,06	43,99	40,08	2580	42,97	39,06	44,97	40,57
2420	42,97	39,55	44,48	38,61	2585	42,48	39,55	44,48	39,59
2425	42,97	40,04	44,97	39,59	2590	42,97	39,06	43,99	40,57
2430	42,97	39,06	44,48	40,57	2595	42,48	39,06	44,48	40,08
2435	42,97	38,57	43,50	40,57	2600	42,97	39,55	42,03	35,19
2440	42,97	38,57	43,99	40,57	2605	42,97	39,55	43,01	42,03
2445	42,97	39,06	44,97	40,57	2610	42,97	39,55	44,48	40,57

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
2615	42,97	39,55	43,50	40,57	2780	43,46	39,55	44,97	40,57
2620	42,97	39,55	44,48	40,57	2785	42,97	39,55	44,97	40,57
2625	42,97	39,55	44,48	40,57	2790	42,97	40,04	44,48	39,59
2630	42,97	39,06	43,50	40,57	2795	42,97	40,04	44,97	40,57
2635	42,97	39,55	43,50	40,08	2800	42,97	39,55	44,48	40,57
2640	42,97	39,06	43,50	40,57	2805	42,97	38,57	44,48	39,59
2645	42,97	39,55	44,48	39,59	2810	42,97	40,04	44,48	40,08
2650	42,97	39,06	44,48	40,57	2815	43,46	40,53	43,99	40,57
2655	42,97	40,53	44,48	40,08	2820	43,46	39,06	43,50	40,57
2660	43,46	40,53	44,48	39,59	2825	43,46	40,53	44,48	39,59
2665	42,97	39,06	43,50	40,57	2830	43,46	40,53	43,50	40,57
2670	42,97	39,55	44,48	40,57	2835	43,95	40,04	43,50	40,57
2675	42,97	39,55	44,48	40,57	2840	43,46	40,53	43,50	39,59
2680	42,97	39,55	43,50	40,57	2845	43,46	40,53	43,50	39,59
2685	43,46	39,55	44,48	40,57	2850	43,46	40,53	43,99	39,59
2690	43,46	40,53	44,48	40,57	2855	43,95	40,53	43,50	40,57
2695	43,95	40,53	43,50	39,59	2860	43,46	40,53	44,48	39,59
2700	43,46	45,41	44,48	39,59	2865	43,46	40,53	43,50	39,59
2705	43,46	40,53	44,48	40,57	2870	43,46	40,04	43,50	40,57
2710	43,95	40,04	44,97	40,57	2875	44,43	39,55	43,50	40,57
2715	43,46	40,04	44,97	40,57	2880	42,97	40,53	43,99	40,57
2720	44,43	40,53	44,97	40,57	2885	43,46	40,53	43,50	40,57
2725	44,43	40,53	44,97	40,57	2890	42,97	39,55	43,50	40,57
2730	43,46	40,53	44,97	40,57	2895	43,46	40,53	43,50	40,57
2735	43,46	40,53	44,97	40,57	2900	42,97	39,55	43,50	40,57
2740	43,46	40,53	44,97	40,57	2905	43,46	39,55	43,50	40,57
2745	43,46	39,55	44,97	40,57	2910	43,46	39,55	43,50	40,57
2750	42,97	40,53	44,97	40,57	2915	42,97	40,04	43,50	39,59
2755	42,97	40,04	44,97	40,57	2920	42,97	39,55	43,50	40,57
2760	42,97	39,06	44,97	39,59	2925	42,97	39,55	43,99	40,57
2765	42,97	39,55	44,97	40,08	2930	42,97	39,55	43,50	40,57
2770	42,97	40,04	44,97	40,57	2935	42,97	39,06	44,48	40,57
2775	42,97	40,04	44,97	40,57	2940	42,97	39,55	44,48	39,59

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
2945	43,46	39,55	44,97	40,57	3110	43,46	40,53	43,50	40,57
2950	42,97	39,06	44,97	40,57	3115	43,46	41,02	38,12	34,70
2955	42,97	39,55	44,97	40,57	3120	39,06	39,55	44,97	34,70
2960	42,97	39,55	44,48	40,57	3125	39,55	39,55	37,15	30,30
2965	42,97	39,55	44,97	40,57	3130	35,16	28,81	44,97	39,59
2970	43,46	40,04	44,97	40,57	3135	42,97	40,53	43,50	40,57
2975	43,46	40,53	44,97	40,57	3140	42,97	40,53	43,50	40,08
2980	43,46	40,53	44,97	40,57	3145	43,46	40,53	44,48	40,57
2985	43,46	40,53	44,97	40,57	3150	42,97	39,55	44,48	40,57
2990	43,46	40,53	44,97	40,57	3155	43,95	39,55	44,48	40,57
2995	44,43	40,53	44,97	40,57	3160	43,46	39,06	44,97	40,57
3000	43,46	40,53	44,97	40,57	3165	43,46	39,55	44,48	40,57
3005	43,46	41,02	44,97	39,59	3170	44,43	40,53	44,97	40,57
3010	35,64	31,74	44,97	40,08	3175	44,43	40,04	44,97	39,59
3015	43,46	40,53	44,48	39,59	3180	44,43	41,02	44,97	40,08
3020	43,46	39,55	44,97	39,10	3185	43,46	40,53	44,48	40,57
3025	43,46	39,55	44,48	40,57	3190	44,43	40,53	44,97	40,57
3030	42,97	39,06	44,48	40,57	3195	43,46	40,53	44,97	40,57
3035	42,97	39,55	44,48	40,08	3200	43,46	40,53	44,97	40,08
3040	42,97	39,55	44,97	39,59	3205	43,46	40,53	44,48	40,57
3045	42,97	39,55	43,50	40,08	3210	43,46	41,02	44,97	40,08
3050	43,46	40,53	43,99	40,57	3215	35,16	32,71	44,48	40,08
3055	43,46	39,55	43,50	39,59	3220	43,46	40,53	44,97	39,59
3060	42,97	39,55	43,50	40,57	3225	42,97	41,02	44,48	40,08
3065	42,97	39,55	44,48	40,57	3230	42,48	27,34	43,50	40,57
3070	43,46	40,53	44,48	39,59	3235	43,46	40,04	44,48	40,57
3075	43,46	39,55	44,48	40,08	3240	42,97	40,53	43,50	40,08
3080	43,46	40,53	44,48	40,08	3245	43,46	40,53	43,99	40,08
3085	42,97	39,55	43,50	39,59	3250	42,97	39,55	43,50	40,57
3090	43,46	39,55	43,50	40,57	3255	42,97	39,06	44,48	39,59
3095	44,43	40,53	43,99	40,57	3260	42,97	40,53	43,50	39,10
3100	43,46	40,53	43,99	40,08	3265	43,46	40,04	43,50	40,57
3105	43,46	40,53	43,50	39,59	3270	43,46	40,53	44,48	40,57

Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg		Waktu (sekon)	Massa 4 kg		Massa 8 kg	
	Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)		Atas T(°C)	Bawah T(°C)	Atas T(°C)	Bawah T(°C)
3275	42,97	40,53	36,17	39,59	3440	43,46	39,06	44,97	39,59
3280	42,97	39,55	42,52	39,59	3445	42,97	40,04	44,97	40,57
3285	42,97	39,55	43,99	39,10	3450	42,97	40,53	44,97	39,59
3290	42,97	39,06	44,48	34,70	3455	42,97	39,55	44,97	40,57
3295	42,97	40,53	44,97	38,12	3460	43,46	40,04	44,97	39,10
3300	43,46	39,55	43,01	41,54	3465	42,97	40,53	44,97	39,59
3305	43,46	40,53	44,48	40,57	3470	44,43	40,53	44,97	40,57
3310	43,46	40,53	37,15	35,68	3475	43,46	40,53	44,97	39,59
3315	43,46	40,53	44,48	40,57	3480	43,46	40,53	44,97	40,57
3320	43,95	40,53	44,48	40,57	3485	43,46	40,53	44,48	39,59
3325	44,43	40,53	43,99	40,57	3490	43,46	40,53	44,48	40,57
3330	44,43	40,53	43,50	39,59	3495	43,95	40,53	44,48	39,59
3335	43,46	40,53	43,50	38,61	3500	43,95	41,02	44,48	40,08
3340	43,46	40,53	43,01	41,06	3505	36,62	30,76	44,48	39,59
3345	43,46	40,53	44,48	35,68	3510	43,46	40,53	44,48	39,59
3350	44,43	40,53	34,70	35,19	3515	43,46	40,53	44,48	39,59
3355	44,43	40,53	42,03	30,79	3520	43,46	40,53	44,48	40,57
3360	43,95	40,53	42,52	34,70	3525	42,97	40,53	43,50	40,08
3365	43,46	40,04	41,06	34,70	3530	43,46	39,55	44,48	39,59
3370	44,43	40,53	34,21	30,30	3535	43,46	40,04	44,48	39,59
3375	43,46	40,53	44,97	39,10	3540	42,97	40,04	43,99	40,08
3380	43,46	40,53	44,48	40,08	3545	43,46	39,55	44,48	40,57
3385	43,46	40,04	43,50	40,57	3550	42,97	40,53	44,48	40,57
3390	43,46	40,53	44,97	40,57	3555	42,97	40,04	44,48	40,08
3395	43,46	39,55	44,97	40,57	3560	43,46	40,53	43,50	39,59
3400	43,46	39,55	44,97	40,57	3565	43,46	40,53	43,50	39,59
3405	42,97	39,55	44,97	39,59	3570	43,46	39,55	43,50	40,08
3410	43,46	39,55	44,97	40,57	3575	42,97	40,04	43,99	40,57
3415	43,46	40,53	44,97	40,57	3580	43,46	40,53	44,48	39,59
3420	42,97	39,55	44,97	40,57	3585	43,46	41,02	44,48	40,57
3425	42,97	39,55	44,48	40,57					
3430	42,97	40,53	44,97	39,59					
3435	42,97	39,55	44,97	39,59					

Lampiran 3. Data Pengukuran Distribusi Suhu Gabah Atas dan Bawah Menggunakan Massa Gabah 8 kg dengan Variasi Penempatan Sensor

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
0	33,24	31,28	31,49	33,72	155	34,7	33,24	38,61	35,19
5	33,24	31,28	30,83	33,24	160	34,21	33,24	39,59	35,68
10	33,72	31,77	31,09	33,72	165	35,19	33,24	38,61	35,19
15	33,72	31,77	32,03	33,24	170	35,19	33,24	38,61	35,19
20	33,24	31,28	33,24	33,24	175	35,19	33,72	38,61	36,17
25	34,21	31,77	38,61	33,24	180	35,68	33,24	39,1	35,19
30	33,72	32,75	38,12	33,24	185	35,68	33,24	39,1	35,68
35	34,21	32,26	38,12	33,72	190	36,17	33,72	39,1	34,7
40	33,72	31,77	38,61	34,7	195	35,68	33,72	39,59	35,68
45	34,21	31,77	38,61	34,21	200	35,68	33,24	39,1	35,68
50	34,7	32,26	38,12	34,21	205	35,68	33,72	39,1	36,66
55	34,21	32,26	38,61	34,7	210	35,19	33,72	39,1	35,68
60	34,21	32,26	38,61	32,75	215	35,68	34,7	39,1	35,19
65	33,24	31,77	38,61	33,72	220	35,68	33,24	39,1	36,17
70	34,7	32,26	38,61	34,21	225	36,17	33,72	39,59	36,17
75	34,21	32,75	38,12	34,21	230	36,17	33,24	39,1	36,66
80	33,72	33,24	39,1	33,72	235	36,17	33,72	39,59	35,68
85	34,21	32,75	38,61	34,7	240	35,68	33,72	39,59	36,66
90	34,7	31,77	38,61	34,7	245	36,17	34,7	39,1	36,17
95	34,21	32,75	38,12	34,21	250	35,68	33,72	38,61	36,17
100	34,7	32,26	38,12	34,21	255	36,17	33,72	38,61	36,66
105	34,7	32,26	39,1	34,7	260	36,66	33,72	38,61	36,66
110	35,19	32,75	38,61	34,7	265	35,68	34,21	38,61	35,68
115	34,7	33,24	38,12	34,7	270	36,17	34,21	38,12	37,15
120	35,19	32,75	38,61	35,19	275	35,19	34,7	39,1	35,68
125	34,7	32,75	38,61	34,7	280	35,68	34,21	38,12	37,15
130	33,72	32,75	38,61	35,19	285	35,68	33,72	39,1	36,17
135	34,7	34,21	38,61	35,19	290	35,19	33,72	38,61	36,17
140	34,7	33,24	39,1	35,19	295	36,66	34,21	38,61	36,66
145	34,7	33,24	38,61	35,19	300	35,68	34,21	37,63	36,17
150	34,7	31,77	38,61	34,21	305	35,19	33,72	38,12	36,17

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
310	36,17	34,21	39,1	37,15	490	36,17	34,7	41,06	38,12
315	36,66	34,7	37,63	35,68	495	36,17	34,7	41,06	37,63
320	36,17	34,21	38,61	36,17	500	36,17	35,19	41,54	37,63
325	34,7	33,24	39,1	36,17	505	36,66	34,7	41,54	38,12
330	35,68	34,21	38,61	35,68	510	36,66	35,19	41,06	38,61
335	35,68	34,21	38,12	36,66	515	37,15	34,21	41,06	38,12
340	34,7	34,21	38,12	37,15	520	36,66	34,7	41,06	38,61
345	35,68	34,21	38,61	37,15	525	36,17	34,7	41,06	38,12
350	36,66	35,19	39,1	35,19	530	36,17	35,19	41,06	38,12
355	35,68	34,21	38,61	36,66	535	36,17	34,7	40,57	37,63
360	34,7	34,21	39,1	37,15	540	36,17	34,7	41,06	38,61
365	35,68	34,21	38,61	36,66	545	36,66	34,21	41,54	38,61
370	36,66	35,68	39,59	37,15	550	36,17	34,7	42,03	38,61
375	35,68	34,21	39,1	36,66	555	36,17	35,19	41,54	39,1
380	35,68	33,72	38,61	37,15	560	36,17	35,19	41,54	39,1
385	36,17	34,7	39,1	37,15	565	36,66	35,19	42,03	39,1
390	35,68	34,21	39,1	37,15	570	36,66	34,7	41,54	39,1
395	36,17	35,19	39,59	36,66	575	36,66	34,7	42,03	39,59
400	36,66	34,21	38,61	37,15	580	36,66	35,68	42,03	39,59
405	35,68	34,7	39,1	37,15	585	37,15	34,21	41,06	39,59
410	35,68	35,19	39,59	36,17	590	36,66	34,7	42,03	39,1
415	36,17	34,7	39,59	37,15	595	36,66	34,21	41,54	40,08
420	35,68	34,21	38,61	37,63	600	37,15	35,19	41,54	39,1
425	35,68	34,7	39,1	37,15	605	37,63	35,19	41,54	39,1
430	35,68	34,7	38,61	36,66	610	37,15	34,7	41,06	40,08
435	36,17	35,68	39,59	37,63	615	37,15	35,19	40,57	38,12
440	36,17	34,7	39,59	37,63	620	37,15	34,21	41,54	39,1
445	35,19	34,21	39,1	37,63	625	36,66	35,19	42,03	39,59
450	35,68	34,21	38,61	38,12	630	37,15	36,17	41,54	39,1
455	35,68	34,7	39,59	37,63	635	37,15	35,19	42,03	40,08
460	35,68	34,7	39,59	38,12	640	37,15	35,19	41,06	40,08
465	36,17	34,7	39,59	37,15	645	37,15	35,19	41,06	39,59
470	36,17	34,7	39,59	38,61	650	37,63	34,7	41,06	39,59
475	36,17	34,7	40,08	38,12	655	36,66	35,68	41,06	38,61
480	36,17	34,7	40,57	38,61	660	37,63	35,19	41,06	39,1
485	36,66	35,19	41,06	38,12	665	37,63	35,19	41,54	40,08

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
670	38,12	35,68	41,06	38,61	850	37,15	35,68	41,06	38,61
675	36,66	35,19	41,06	39,59	855	37,63	36,17	41,54	38,61
680	37,15	35,19	41,06	40,08	860	37,63	36,66	42,03	38,61
685	37,15	35,68	41,06	39,59	865	37,15	36,17	41,54	39,1
690	37,63	36,17	41,54	40,08	870	37,63	35,68	41,54	39,1
695	37,15	34,7	41,06	39,59	875	37,63	36,17	42,03	39,1
700	37,15	35,19	40,57	39,1	880	37,63	36,66	41,54	39,1
705	37,15	35,68	41,54	38,12	885	37,63	36,66	42,03	39,59
710	37,15	36,17	41,54	39,59	890	37,63	36,17	42,03	39,59
715	37,15	35,68	41,06	38,12	895	37,63	35,68	41,06	39,59
720	37,63	35,19	41,06	39,59	900	37,63	36,17	42,03	39,1
725	37,63	35,19	41,06	39,59	905	37,63	36,17	41,54	40,08
730	37,63	35,68	41,06	39,59	910	37,63	36,17	41,54	39,1
735	37,63	35,68	40,57	39,59	915	36,17	36,66	41,54	39,1
740	37,63	35,19	41,06	39,59	920	37,63	36,17	41,06	40,08
745	37,15	35,68	41,54	40,08	925	38,61	37,63	40,57	38,12
750	36,66	35,68	41,54	39,59	930	37,63	36,17	41,54	39,1
755	36,17	36,66	41,06	39,1	935	37,63	36,17	42,03	39,59
760	37,63	35,19	41,06	40,08	940	37,63	36,17	41,54	39,1
765	37,15	34,7	40,57	38,12	945	37,63	35,68	42,03	40,08
770	38,12	35,68	41,06	39,59	950	37,15	37,15	41,06	40,08
775	36,17	35,19	41,06	40,08	955	37,63	36,17	41,06	39,59
780	37,15	35,68	41,06	40,08	960	37,15	37,15	41,06	39,59
785	37,63	35,68	41,06	39,59	965	37,63	36,17	41,06	38,61
790	37,63	36,66	42,03	40,57	970	38,12	36,66	41,06	39,1
795	37,15	35,19	42,03	41,54	975	37,63	36,17	41,54	40,08
800	37,15	35,68	42,03	40,57	980	38,12	36,66	41,06	38,61
805	37,63	33,72	42,03	40,57	985	37,15	36,17	41,06	39,59
810	37,63	36,17	42,03	40,08	990	38,12	36,17	41,06	40,08
815	38,12	35,19	42,52	41,06	995	38,12	36,17	41,06	39,59
820	37,63	35,19	42,52	39,59	1000	38,12	36,17	41,54	40,08
825	37,63	36,17	42,52	41,06	1005	37,63	35,68	41,06	39,59
830	37,63	35,68	41,06	40,08	1010	37,63	35,68	40,57	39,1
835	37,63	35,68	42,52	41,54	1015	38,12	36,66	41,54	38,12
840	37,15	35,19	42,52	41,06	1020	38,12	36,66	41,54	39,59
845	38,12	36,17	40,57	39,63	1025	38,12	36,66	41,06	38,12

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
1030	38,12	36,17	41,06	39,59	1210	39,1	38,61	43,54	39,59
1035	38,12	36,66	41,06	39,59	1215	39,1	37,15	42,03	40,08
1040	38,12	36,17	41,06	39,59	1220	39,1	37,15	42,52	38,61
1045	38,12	36,66	40,57	39,59	1225	38,61	37,15	42,03	39,59
1050	38,61	36,66	41,06	39,59	1230	39,1	37,15	43,54	39,1
1055	39,1	36,66	41,54	40,08	1235	39,59	37,63	42,03	39,59
1060	38,12	36,66	41,54	39,59	1240	38,12	36,66	43,54	39,1
1065	38,12	36,66	41,06	39,1	1245	38,12	37,15	42,52	39,1
1070	38,61	34,21	41,06	40,08	1250	39,1	36,66	42,52	39,1
1075	38,61	35,68	40,57	38,12	1255	38,61	37,15	43,54	38,12
1080	38,61	36,17	41,06	39,59	1260	39,59	37,63	40,57	38,61
1085	38,61	36,66	41,06	40,08	1265	39,1	37,15	43,54	40,57
1090	38,61	36,17	41,06	40,08	1270	39,1	37,15	43,54	39,1
1095	38,61	36,66	41,06	39,59	1275	39,59	37,15	42,52	40,57
1100	39,59	37,15	42,03	40,57	1280	39,1	37,15	43,54	38,61
1105	38,61	36,66	42,03	41,54	1285	39,59	37,15	43,54	40,08
1110	38,61	36,66	42,03	40,57	1290	39,59	37,63	43,54	38,61
1115	38,61	36,66	42,03	40,57	1295	39,59	38,61	42,03	39,15
1120	38,61	37,15	42,03	40,08	1300	39,1	37,63	43,54	39,1
1125	38,61	36,66	42,52	41,06	1305	39,59	37,63	42,03	39,1
1130	38,61	36,66	42,52	39,59	1310	39,1	37,15	40,57	39,59
1135	38,61	36,66	42,52	41,06	1315	40,08	37,63	43,06	38,61
1140	38,61	36,66	41,06	40,08	1320	39,59	37,63	43,54	39,63
1145	38,61	36,66	42,52	41,54	1325	39,59	37,63	43,06	38,61
1150	38,61	36,66	42,52	41,06	1330	39,59	37,15	41,54	39,63
1155	39,59	36,66	42,52	39,1	1335	39,59	37,63	40,57	38,12
1160	38,12	37,15	43,54	40,57	1340	39,59	37,63	40,57	39,59
1165	39,1	37,15	43,54	40,57	1345	40,08	38,12	43,06	38,61
1170	38,61	36,66	43,54	39,59	1350	39,59	37,63	43,54	38,61
1175	38,61	37,15	43,54	38,12	1355	39,1	37,63	43,06	40,08
1180	38,61	37,15	42,52	39,1	1360	39,59	38,61	42,52	39,1
1185	39,1	36,66	42,03	39,59	1365	39,1	38,12	43,06	40,08
1190	38,61	37,15	42,03	39,15	1370	39,59	37,63	40,08	39,59
1195	38,61	37,15	43,54	39,59	1375	39,59	37,63	40,57	39,1
1200	38,61	37,15	42,03	39,1	1380	39,59	38,12	43,06	39,63
1205	39,1	36,17	42,52	38,61	1385	39,59	36,66	40,57	39,1

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
1390	40,08	38,12	43,06	39,1	1570	40,08	38,61	42,03	39,59
1395	39,59	37,63	41,06	38,61	1575	40,08	38,61	42,52	39,59
1400	39,59	38,12	40,57	37,63	1580	40,08	39,59	42,52	39,1
1405	39,59	38,12	40,57	39,59	1585	40,08	36,66	42,52	39,59
1410	39,1	37,63	40,57	38,12	1590	40,57	39,59	42,03	40,08
1415	40,57	37,63	40,57	38,61	1595	40,08	38,61	42,52	40,08
1420	39,59	37,63	42,03	38,61	1600	40,08	38,61	42,52	39,59
1425	39,59	37,63	43,06	38,61	1605	40,08	38,61	42,03	39,59
1430	40,08	36,66	43,06	38,61	1610	40,08	38,61	42,03	38,61
1435	40,08	38,12	43,06	36,66	1615	40,08	38,61	42,52	40,08
1440	39,59	38,12	43,06	38,61	1620	40,08	38,61	42,52	41,06
1445	39,59	38,12	42,03	39,1	1625	40,08	38,61	42,52	38,12
1450	40,08	38,12	40,57	39,59	1630	40,08	38,12	43,06	39,1
1455	40,08	37,63	42,03	39,59	1635	40,08	38,61	42,03	39,59
1460	39,59	36,66	43,06	39,1	1640	40,08	38,61	42,03	39,1
1465	39,59	38,12	43,06	38,12	1645	40,08	38,61	42,03	37,15
1470	40,08	38,12	40,57	39,59	1650	40,08	38,61	42,03	39,59
1475	40,08	38,12	43,06	38,61	1655	40,08	38,61	42,03	40,57
1480	39,59	37,63	43,06	38,61	1660	40,08	38,61	41,06	40,57
1485	40,08	38,12	43,54	39,1	1665	40,08	39,1	42,52	39,1
1490	40,57	38,61	42,03	39,59	1670	40,08	38,61	42,03	39,59
1495	39,59	38,12	43,06	39,59	1675	40,08	38,61	43,54	39,59
1500	40,08	38,12	41,54	38,12	1680	40,08	39,1	40,57	39,1
1505	40,08	38,61	42,52	39,59	1685	39,59	37,63	43,01	37,63
1510	39,59	38,12	42,03	39,1	1690	40,08	37,15	43,54	39,59
1515	40,08	38,12	42,03	40,57	1695	40,08	37,63	41,06	37,63
1520	40,57	38,61	42,03	40,08	1700	40,08	38,61	42,52	40,08
1525	39,59	38,12	43,54	38,12	1705	40,08	38,61	43,54	38,61
1530	40,08	38,12	42,03	39,1	1710	40,08	37,63	43,54	39,1
1535	40,08	38,12	42,03	39,1	1715	40,57	39,1	43,54	39,1
1540	40,57	38,12	42,03	38,12	1720	40,08	38,61	43,06	39,1
1545	40,08	38,12	42,03	40,08	1725	40,08	38,61	42,03	39,1
1550	39,59	38,12	41,54	39,1	1730	39,1	38,12	40,57	39,59
1555	40,08	38,61	42,03	40,08	1735	40,57	38,61	42,03	39,1
1560	40,08	38,61	42,52	39,1	1740	40,08	38,61	42,52	40,08
1565	40,08	38,61	42,03	39,1	1745	40,08	38,61	43,06	39,1

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
1750	40,57	38,61	43,06	39,1	1930	39,1	38,12	42,03	39,1
1755	40,08	38,61	40,08	39,59	1935	39,1	38,12	42,52	40,08
1760	40,08	38,61	43,54	39,1	1940	39,1	38,12	42,03	40,08
1765	40,08	38,61	43,06	38,12	1945	39,59	38,61	43,06	39,1
1770	40,08	38,61	43,06	39,1	1950	39,59	38,12	43,06	38,12
1775	40,08	38,61	43,06	38,61	1955	38,61	39,1	42,03	39,59
1780	40,08	38,12	43,06	40,57	1960	39,59	38,12	43,54	39,1
1785	40,08	38,12	43,06	40,08	1965	39,1	38,61	43,06	38,61
1790	40,08	39,1	43,54	39,1	1970	40,08	38,12	43,54	38,61
1795	40,08	38,61	41,54	38,61	1975	40,08	37,63	43,54	39,1
1800	40,08	38,61	43,54	40,08	1980	39,59	37,63	43,54	38,61
1805	39,59	38,61	43,54	39,59	1985	39,59	37,63	43,06	38,61
1810	40,08	38,12	44,57	39,59	1990	39,59	38,12	42,52	38,12
1815	40,08	37,15	44,57	40,57	1995	39,59	37,63	43,54	39,1
1820	39,59	38,61	44,08	39,59	2000	39,59	37,63	43,54	38,61
1825	40,08	38,12	43,54	38,61	2005	39,59	37,63	43,54	39,1
1830	40,08	38,61	43,06	38,61	2010	39,59	38,12	42,03	39,1
1835	40,08	38,61	43,06	39,1	2015	39,59	37,63	43,54	39,1
1840	39,59	38,61	43,54	38,61	2020	39,59	38,61	42,52	38,61
1845	39,59	38,12	42,03	37,63	2025	39,59	38,12	43,06	39,1
1850	39,59	38,12	43,06	40,08	2030	39,59	38,12	43,54	38,61
1855	39,59	39,59	43,06	39,59	2035	39,59	38,12	42,03	38,61
1860	39,1	39,1	43,54	38,61	2040	39,1	38,61	41,54	38,61
1865	39,59	38,12	43,06	40,08	2045	39,59	38,12	41,54	37,63
1870	39,1	38,61	42,52	40,08	2050	39,59	38,12	41,54	40,57
1875	39,59	38,61	44,57	40,57	2055	39,59	37,63	41,06	40,57
1880	39,1	38,61	42,03	38,12	2060	39,59	38,61	42,03	39,59
1885	39,1	38,61	43,54	38,12	2065	39,59	38,12	42,03	39,59
1890	39,1	38,12	42,03	39,59	2070	39,59	37,63	42,03	40,08
1895	39,1	38,61	43,01	39,59	2075	39,59	37,63	42,52	39,59
1900	39,59	37,15	44,01	39,59	2080	39,1	37,15	41,06	38,12
1905	38,61	37,63	44,01	41,06	2085	40,08	37,63	43,01	38,61
1910	39,1	38,12	43,54	40,08	2090	39,59	37,63	43,01	41,06
1915	39,1	38,12	41,54	41,06	2095	40,08	38,12	42,03	40,08
1920	39,1	38,12	42,52	40,57	2100	40,08	38,12	42,52	39,1
1925	39,59	38,61	42,03	39,59	2105	40,08	37,63	43,01	39,1

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
2110	40,08	37,63	42,52	39,1	2290	40,08	39,1	41,54	39,1
2115	40,08	38,12	42,03	39,59	2295	40,08	38,61	42,52	38,61
2120	40,08	37,63	42,03	41,06	2300	40,08	38,12	41,54	39,1
2125	40,08	37,63	42,52	39,59	2305	39,59	37,63	41,54	39,1
2130	40,08	38,61	43,01	39,1	2310	40,08	38,61	41,54	40,57
2135	40,08	37,63	41,54	39,1	2315	40,08	38,61	41,06	39,1
2140	40,08	37,63	42,52	39,59	2320	40,57	38,12	41,06	38,61
2145	40,08	36,17	42,03	40,08	2325	40,08	38,12	42,03	39,1
2150	40,08	37,63	43,01	39,59	2330	40,08	38,12	41,54	38,61
2155	40,08	37,63	41,06	39,1	2335	40,08	38,12	41,54	39,1
2160	40,57	38,12	42,03	41,06	2340	40,08	37,63	42,52	40,57
2165	40,08	37,63	42,03	39,59	2345	40,08	38,12	42,03	39,1
2170	40,57	38,12	42,03	39,59	2350	40,08	38,12	42,03	39,59
2175	40,08	38,12	41,06	40,57	2355	40,08	38,12	42,52	39,59
2180	40,57	38,12	42,03	39,59	2360	40,08	38,12	42,52	39,59
2185	40,57	38,12	42,03	39,59	2365	39,1	38,61	42,52	39,59
2190	40,57	37,63	41,06	38,61	2370	40,08	38,12	42,52	40,08
2195	40,08	37,63	42,52	40,57	2375	39,59	38,12	42,03	39,1
2200	40,57	38,12	41,06	38,61	2380	40,08	38,12	41,06	40,08
2205	40,57	37,63	42,03	39,1	2385	39,59	38,12	43,01	39,1
2210	40,57	38,12	41,54	39,1	2390	40,57	39,1	42,52	40,57
2215	40,57	37,15	42,03	40,57	2395	39,59	38,61	43,01	41,06
2220	40,57	38,12	41,06	38,61	2400	40,08	38,61	42,52	40,57
2225	40,57	38,61	41,54	39,1	2405	40,08	38,61	42,52	39,1
2230	40,57	38,12	41,54	39,59	2410	39,59	38,12	43,5	39,59
2235	40,57	38,12	41,54	38,61	2415	39,59	38,12	42,03	41,06
2240	40,57	38,12	41,06	39,1	2420	39,59	38,12	42,52	40,08
2245	40,08	38,61	40,57	38,61	2425	40,08	38,12	42,52	39,59
2250	40,57	38,61	41,54	39,1	2430	40,08	38,61	42,03	38,12
2255	40,57	38,61	41,54	40,57	2435	39,59	38,61	43,01	40,57
2260	40,57	38,12	41,54	39,1	2440	40,57	38,61	42,52	40,08
2265	40,08	38,12	41,54	39,1	2445	39,59	38,61	42,03	39,59
2270	40,08	38,12	41,06	40,08	2450	39,59	38,61	42,52	40,08
2275	39,59	38,61	41,06	38,61	2455	40,08	38,12	43,01	40,57
2280	40,08	38,12	41,54	38,61	2460	40,08	38,61	43,99	40,08
2285	40,08	38,12	41,54	38,12	2465	39,59	38,61	43,99	40,57

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
2470	39,59	38,12	42,52	41,54	2650	39,59	38,61	42,03	39,59
2475	40,08	39,1	42,52	40,08	2655	39,1	38,61	42,52	40,08
2480	39,59	38,61	42,52	40,08	2660	39,1	38,12	42,52	40,08
2485	40,08	39,59	42,03	41,54	2665	39,59	38,61	42,03	39,59
2490	39,59	38,61	43,01	40,08	2670	40,08	37,15	42,52	39,59
2495	39,59	38,61	42,03	39,1	2675	39,59	38,61	41,54	40,08
2500	39,1	38,61	43,01	38,12	2680	40,08	39,1	43,01	38,61
2505	39,59	38,61	43,01	38,61	2685	39,59	38,61	41,54	40,08
2510	39,59	39,1	42,52	40,08	2690	39,59	38,61	42,03	38,61
2515	39,59	38,12	42,52	40,08	2695	39,59	38,12	42,03	39,59
2520	39,59	38,61	43,01	38,12	2700	40,08	38,61	42,03	39,59
2525	39,59	38,61	43,01	40,57	2705	40,08	37,63	42,03	39,59
2530	39,59	38,61	41,54	40,57	2710	40,08	38,61	41,54	39,1
2535	39,59	38,12	43,01	39,59	2715	40,08	38,61	41,54	39,59
2540	39,59	38,61	43,01	41,54	2720	40,08	38,12	41,54	39,59
2545	39,59	38,61	42,52	39,59	2725	40,08	38,61	42,03	39,1
2550	39,1	37,63	42,03	41,06	2730	40,08	39,1	41,54	39,1
2555	39,59	38,12	42,03	39,59	2735	40,08	39,1	41,54	39,1
2560	39,59	39,1	43,01	40,57	2740	40,57	38,61	42,52	40,08
2565	39,59	38,61	43,01	39,1	2745	40,08	38,61	42,03	40,57
2570	39,59	38,12	43,01	40,08	2750	39,1	37,63	41,54	37,63
2575	39,59	38,61	43,01	41,06	2755	40,08	38,61	41,54	38,12
2580	39,59	38,12	42,03	40,08	2760	40,08	38,61	41,06	40,08
2585	39,59	38,61	42,52	40,08	2765	39,1	38,61	42,52	39,1
2590	39,59	38,61	43,01	39,59	2770	40,08	38,12	41,54	39,1
2595	40,08	38,12	43,99	39,1	2775	40,57	38,61	41,54	38,61
2600	39,59	38,61	43,01	40,08	2780	40,08	38,61	41,54	39,1
2605	39,59	38,61	42,03	40,57	2785	40,08	39,1	42,03	39,1
2610	40,08	38,61	42,52	38,61	2790	40,08	38,12	42,03	39,1
2615	39,1	39,1	43,5	40,08	2795	39,59	38,12	42,03	39,59
2620	40,08	39,1	43,01	41,06	2800	40,08	38,12	42,52	40,08
2625	39,59	38,61	42,03	38,61	2805	40,08	38,12	42,52	38,61
2630	39,59	38,61	43,01	39,59	2810	40,57	38,12	42,52	40,57
2635	39,59	38,61	42,03	39,59	2815	39,59	38,12	42,52	40,08
2640	39,59	38,61	42,03	39,1	2820	39,59	38,12	42,52	40,08
2645	39,59	38,61	42,52	40,08	2825	40,08	38,61	42,03	39,59

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
2830	40,08	39,1	42,52	38,12	3010	39,1	38,61	41,06	38,61
2835	40,08	39,1	43,01	38,61	3015	39,1	38,12	40,57	38,61
2840	40,08	38,61	41,06	39,1	3020	39,1	38,12	41,06	38,61
2845	39,59	38,61	41,54	38,61	3025	40,08	38,61	41,06	38,61
2850	39,1	39,1	41,06	39,1	3030	39,59	38,12	40,57	38,12
2855	39,59	38,12	41,54	39,1	3035	39,1	38,12	40,57	38,12
2860	39,59	38,61	41,06	39,1	3040	39,59	38,61	40,57	38,12
2865	39,59	38,61	41,06	39,1	3045	39,1	38,12	41,06	38,61
2870	39,59	38,61	41,06	38,61	3050	39,1	38,61	41,06	38,61
2875	39,59	38,61	38,61	17,11	3055	39,1	38,12	41,54	38,61
2880	39,59	38,61	41,06	38,61	3060	39,1	38,12	41,54	38,61
2885	40,57	39,1	41,06	38,61	3065	39,59	38,12	41,54	38,61
2890	39,59	38,61	41,06	38,61	3070	39,59	38,12	41,54	39,1
2895	39,59	38,61	40,57	38,61	3075	39,59	38,12	41,54	39,1
2900	39,59	38,12	41,06	38,61	3080	39,59	38,12	41,54	39,1
2905	39,59	38,61	41,06	38,61	3085	39,59	38,12	41,54	39,1
2910	39,59	38,12	41,06	38,61	3090	39,59	38,12	41,54	39,1
2915	40,08	38,12	41,06	38,61	3095	40,08	38,12	41,54	39,1
2920	39,59	37,15	40,57	38,61	3100	40,08	38,12	41,54	39,1
2925	39,59	38,61	40,57	38,61	3105	38,61	38,12	41,54	39,1
2930	39,59	38,61	40,57	38,61	3110	40,08	38,12	41,54	39,1
2935	39,1	38,61	40,57	38,12	3115	40,08	38,61	41,54	39,1
2940	39,59	38,61	40,57	38,61	3120	40,08	38,61	41,54	39,1
2945	39,1	39,1	40,57	38,12	3125	40,08	38,61	41,54	39,1
2950	39,59	38,61	41,06	38,61	3130	39,59	37,63	41,54	39,1
2955	39,59	38,61	41,06	38,12	3135	40,57	38,12	41,54	39,1
2960	39,59	38,61	41,06	38,61	3140	40,08	38,12	41,54	39,1
2965	39,1	38,61	40,57	38,12	3145	40,57	39,1	41,06	41,54
2970	39,59	38,12	41,06	38,61	3150	40,08	38,61	41,54	39,1
2975	39,1	37,15	40,57	38,12	3155	40,08	38,61	41,06	38,61
2980	39,1	38,12	40,57	38,12	3160	40,08	38,12	41,06	38,61
2985	39,1	39,1	40,57	38,12	3165	40,08	38,61	41,06	39,1
2990	39,1	38,12	41,06	38,61	3170	40,08	38,12	41,06	39,1
2995	39,1	39,1	40,57	38,61	3175	40,08	38,12	41,06	38,61
3000	39,1	38,12	40,57	38,12	3180	40,57	38,61	41,06	38,61
3005	39,1	38,61	40,57	38,12	3185	40,08	38,12	41,06	38,61

t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm		t (sekon)	Jarak 4,5 cm		Jarak 2 cm	
	T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)		T(°C)	T(°C)	T(°C)	T(°C)
	Atas	Bawah	Atas	Bawah		Atas	Bawah	Atas	Bawah
3190	40,08	38,61	41,06	38,61	3260	40,57	39,1	41,06	38,61
3195	40,08	38,61	41,06	38,61	3265	40,08	38,61	41,06	38,61
3200	39,1	38,12	41,06	38,61	3270	40,08	38,61	41,06	38,61
3205	40,08	38,61	41,06	38,61	3275	40,08	38,61	41,54	39,1
3210	40,57	38,61	41,06	38,61	3280	39,1	38,61	41,54	39,1
3215	40,08	38,61	41,06	38,61	3285	40,08	38,61	41,54	39,1
3220	41,06	38,12	41,06	38,61	3290	40,08	38,61	41,54	39,1
3225	40,08	38,12	41,54	38,61	3295	40,08	38,61	41,54	39,1
3230	40,08	38,61	41,06	38,61	3300	40,08	38,61	42,03	39,1
3235	40,08	38,61	41,06	38,61	3305	40,08	39,1	42,03	39,59
3240	40,08	38,61	41,06	38,61	3310	40,08	38,61	41,54	39,1
3245	40,08	38,12	41,06	38,61	3315	40,08	38,61	41,54	39,1
3250	40,08	38,61	41,06	38,61	3320	40,08	38,61	41,54	39,1
3255	40,08	38,61	41,06	38,61	3325	40,08	38,62	42,03	39,59

Lampiran 4. Data hasil pengukuran suhu gabah (Konduktivitas)

t (s)	Suhu Gabah Basah (°C)					t (s)	Suhu Gabah Basah (°C)				
	titik A	titik B	titik C	titik D	titik E		titik A	titik B	titik C	titik D	titik E
0	33,2	32,71	32,71	33,2	32,71	180	36,62	33,2	33,2	33,69	33,69
5	33,2	32,23	33,2	33,2	32,71	185	36,62	33,69	34,18	33,69	33,69
10	33,2	32,71	33,2	33,2	32,71	190	37,11	33,69	33,69	33,69	33,69
15	33,2	32,71	33,2	33,2	32,71	195	37,11	33,69	33,69	33,69	34,18
20	33,2	32,71	33,2	33,2	32,71	200	37,11	33,69	33,69	33,69	34,18
25	33,2	32,71	42,48	33,2	32,71	205	37,11	33,69	34,18	33,69	34,18
30	33,2	32,71	35,16	33,2	32,71	210	37,6	33,69	33,69	33,69	34,18
35	33,2	32,71	50,78	33,2	32,71	215	37,6	33,69	33,69	33,69	34,18
40	33,2	32,71	32,71	33,2	32,71	220	37,6	33,69	33,69	34,18	34,18
45	33,2	32,71	33,69	33,2	32,71	225	38,09	33,69	34,18	34,18	34,18
50	33,2	32,71	33,69	33,2	32,71	230	38,09	34,18	34,18	34,18	34,18
55	33,69	32,71	35,64	33,2	32,71	235	38,57	34,18	34,18	34,18	34,18
60	33,69	32,71	34,18	33,2	33,2	240	38,57	34,18	33,69	34,18	34,18
65	33,69	32,71	32,23	33,2	33,2	245	38,57	34,18	33,69	34,18	34,18
70	33,69	32,71	32,71	33,2	33,2	250	38,57	34,18	34,18	34,18	34,18
75	33,69	32,71	33,69	33,2	33,2	255	38,57	34,18	34,18	34,18	34,18
80	33,69	32,71	32,71	33,2	33,2	260	39,06	34,18	33,69	34,18	34,18
85	34,18	32,71	33,2	33,2	33,2	265	39,06	34,67	34,67	34,18	34,18
90	34,18	32,71	33,2	33,2	33,2	270	39,06	34,67	34,18	34,18	34,18
95	34,18	32,71	33,2	33,2	33,2	275	39,06	34,67	35,64	34,18	34,18
100	34,18	32,71	33,2	33,2	33,2	280	39,55	34,67	34,18	34,18	34,18
105	34,18	32,71	33,2	33,2	33,2	285	39,55	34,67	36,13	34,18	34,18
110	34,67	32,71	33,2	33,2	33,2	290	39,55	34,67	35,16	34,18	34,18
115	34,67	33,2	33,2	33,2	33,2	295	39,55	34,67	34,67	34,18	34,18
120	34,67	32,71	33,2	33,2	33,2	300	40,04	34,67	33,69	34,18	34,18
125	34,67	32,71	33,2	33,69	33,69	305	40,04	34,67	34,67	34,18	34,18
130	35,16	33,2	33,2	33,69	33,2	310	40,04	35,16	35,16	34,18	34,18
135	35,16	33,2	33,2	33,2	33,69	315	40,53	35,16	34,67	34,18	34,18
140	35,16	33,2	33,2	33,69	33,69	320	40,53	35,16	34,18	34,18	34,18
145	35,64	33,2	33,2	33,69	33,2	325	40,53	35,16	34,67	34,67	34,18
150	35,64	33,2	33,2	33,69	33,69	330	40,53	35,16	34,67	34,67	34,18
155	35,64	33,2	33,2	33,69	33,69	335	40,53	35,16	35,16	34,67	34,18
160	36,13	33,2	33,2	33,69	33,69	340	41,02	36,13	35,64	34,67	34,18
165	36,13	33,2	33,2	33,69	33,69	345	41,02	35,64	34,67	34,67	34,18
170	36,13	33,2	33,69	33,69	33,69	350	41,02	35,64	34,67	34,67	34,67
175	36,62	33,69	33,2	33,69	33,69	355	41,02	35,64	34,67	34,67	34,67

t (s)	Suhu Gabah Basah (°C)					t (s)	Suhu Gabah Basah (°C)				
	titik A	titik B	titik C	titik D	titik E		titik A	titik B	titik C	titik D	titik E
360	41,5	35,64	34,67	34,67	34,67	500	43,95	37,6	36,62	35,64	35,16
365	41,5	35,64	35,16	34,67	34,67	505	43,95	37,6	36,62	35,64	35,16
370	41,5	35,64	35,16	34,67	34,67	510	44,43	37,6	36,62	35,64	35,16
375	41,5	36,13	35,64	34,67	34,67	515	44,43	37,6	36,62	35,64	35,16
380	41,5	36,13	35,64	34,67	34,67	520	44,43	37,6	36,62	35,64	35,16
385	41,99	36,13	35,16	34,67	34,67	525	44,43	37,6	36,62	35,64	35,16
390	41,99	36,13	35,16	34,67	34,67	530	44,43	37,6	36,62	35,64	35,16
395	41,99	36,13	35,16	35,16	34,67	535	44,43	37,6	37,11	36,13	35,16
400	41,99	36,13	35,64	34,67	34,67	540	44,92	38,09	37,11	35,64	35,16
405	42,48	36,13	35,64	34,67	34,67	545	44,92	38,09	37,11	36,13	35,16
410	42,48	36,13	35,64	34,67	34,67	550	44,92	38,09	37,11	36,13	35,16
415	42,48	36,13	35,64	35,16	34,67	555	44,92	38,09	37,11	36,13	35,16
420	42,48	36,62	35,64	35,16	34,67	560	44,92	38,09	37,11	36,13	35,16
425	42,48	36,62	35,64	35,16	34,67	565	45,41	38,09	46,39	36,13	35,16
430	42,48	36,62	36,13	35,16	34,67	570	45,41	38,09	37,6	36,13	35,16
435	42,97	36,62	35,64	35,16	34,67	575	45,41	38,57	37,6	36,13	35,16
440	42,97	36,62	36,13	35,16	34,67	580	45,41	38,57	37,6	36,13	35,16
445	42,97	36,62	36,13	35,16	34,67	585	45,41	38,57	37,6	36,13	35,16
450	42,97	37,11	35,64	35,16	34,67	590	45,9	38,57	37,6	36,13	35,16
455	43,46	37,11	36,13	35,16	34,67	595	45,9	38,57	37,6	36,13	35,16
460	43,46	37,11	36,13	35,16	34,67	600	45,9	38,57	37,6	36,13	35,64
465	43,46	37,11	36,13	35,16	34,67	605	45,9	38,57	37,6	36,62	35,64
470	43,46	37,11	40,04	35,16	34,67	610	45,9	38,57	37,6	36,62	35,64
475	43,46	37,11	36,13	35,64	34,67	615	45,9	38,57	37,6	36,62	35,64
480	43,46	37,11	36,13	35,64	34,67	620	45,9	38,57	37,6	36,62	35,64
485	43,95	37,11	36,62	35,64	34,67	625	46,39	39,06	37,6	36,62	35,64
490	43,95	37,6	36,62	35,64	34,67	630	46,39	39,06	38,09	36,62	35,64
495	43,95	37,11	36,13	35,64	34,67	635	46,39	39,06	39,55	36,62	35,64

t (s)	Suhu Gabah Basah/Kering (°C)					t (s)	Suhu Gabah Basah/Kering (°C)				
	titik A	titik B	titik C	titik D	titik E		titik A	titik B	titik C	titik D	titik E
0	39,55	37,11	37,11	37,6	36,13	25	41,5	37,6	37,6	37,6	36,62
5	40,04	37,6	37,11	37,6	36,62	30	41,02	37,6	37,6	37,11	36,62
10	40,04	37,6	37,6	37,6	36,62	35	41,5	37,6	37,6	37,6	36,62
15	40,53	37,6	37,6	37,11	36,62	40	41,5	37,6	37,6	37,6	36,62
20	40,53	37,11	37,6	37,6	36,62	45	41,5	38,1	38,09	37,6	36,62

t (s)	Suhu Gabah Basah/Kering (°C)					t (s)	Suhu Gabah Basah/Kering (°C)				
	titik A	titik B	titik C	titik D	titik E		titik A	titik B	titik C	titik D	titik E
50	41,5	37,6	38,09	37,6	36,13	240	43,46	40,04	38,57	38,09	36,62
55	41,5	38,09	38,09	37,6	36,62	245	42,48	40,53	38,57	37,6	36,62
60	41,5	38,09	38,09	37,6	36,62	250	43,46	40,53	38,57	38,09	36,62
65	41,5	38,57	38,09	37,6	36,62	255	43,46	40,53	38,57	38,09	36,62
70	41,5	38,09	38,09	37,6	36,62	260	43,95	40,04	39,06	37,6	36,62
75	41,5	38,57	38,57	37,6	36,62	265	42,97	40,53	38,57	38,09	36,62
80	41,5	38,57	38,09	37,6	36,62	270	43,46	40,53	38,57	38,09	36,62
85	41,99	38,57	38,09	37,6	36,62	275	43,46	40,53	38,57	37,6	36,62
90	41,5	38,57	38,09	37,6	36,62	280	43,46	40,53	39,06	38,09	36,62
95	41,02	38,57	38,57	37,6	36,62	285	43,46	40,53	39,06	38,09	36,62
100	41,99	38,57	38,57	37,6	36,62	290	43,46	41,02	38,57	38,09	36,62
105	41,5	38,57	38,57	37,6	36,62	295	43,95	40,53	39,06	37,6	36,62
110	41,5	39,06	38,57	37,6	36,62	300	43,95	40,53	39,06	38,09	36,62
115	41,99	39,06	38,09	38,09	36,62	305	43,95	40,53	39,06	38,09	36,62
120	41,99	39,06	38,57	37,6	36,62	310	43,46	40,04	39,06	38,09	36,62
125	41,5	39,06	38,57	37,6	36,62	315	43,95	40,04	39,06	38,09	36,62
130	41,99	39,06	38,57	37,6	36,62	320	44,43	40,53	39,06	38,09	36,62
135	41,99	39,06	38,57	37,6	36,62	325	43,95	40,04	39,06	38,09	36,62
140	41,99	39,55	38,57	37,6	36,62	330	44,43	40,53	39,06	38,09	36,62
145	41,99	39,55	38,57	37,6	36,62	335	44,43	40,53	39,06	38,09	36,62
150	41,99	39,55	38,09	37,6	36,62	340	44,43	40,53	39,06	38,09	36,62
155	41,99	39,55	38,57	37,6	36,62	345	44,43	40,53	39,06	38,09	36,62
160	40,53	40,04	38,57	37,6	36,62	350	43,95	40,53	39,55	37,6	36,62
165	42,48	39,55	38,57	37,6	36,62	355	43,95	41,02	39,06	38,09	36,62
170	42,48	39,55	38,57	37,6	36,62	360	43,95	40,53	39,06	38,09	36,62
175	42,48	39,55	38,57	37,6	36,62	365	43,95	40,53	39,06	38,09	36,62
180	42,97	40,04	38,57	38,09	36,62	370	42,97	41,02	39,55	38,09	36,62
185	42,48	40,04	38,57	37,6	37,11	375	43,46	41,02	39,55	38,09	37,11
190	42,97	40,04	38,57	37,6	36,62	380	43,95	41,02	39,55	38,09	36,62
195	42,48	40,04	38,57	37,6	36,62	385	43,95	41,02	39,55	38,09	37,11
200	42,97	40,53	38,57	37,6	36,62	390	44,43	41,02	40,04	38,57	36,62
205	42,97	40,04	38,57	38,09	36,62	395	44,43	41,5	40,04	38,57	36,62
210	42,97	40,04	38,57	38,09	36,62	400	44,43	41,5	40,04	38,09	36,62
215	42,97	39,55	38,57	37,6	36,62	405	44,43	41,02	40,04	38,57	36,62
220	43,46	39,55	38,57	38,09	36,62	410	44,43	41,5	40,04	38,57	36,62
225	42,97	40,04	38,57	38,09	36,62	415	44,43	41,02	40,04	38,57	37,11
230	42,97	40,04	38,57	38,09	37,11	420	44,43	41,5	40,04	38,09	37,11
235	43,46	40,53	38,57	38,09	36,62	425	44,43	41,5	40,04	38,57	36,62

t (s)	Suhu Gabah Kering (°C)					t (s)	Suhu Gabah Kering (°C)				
	titik A	titik B	titik C	titik D	titik E		titik A	titik B	titik C	titik D	titik E
0	37,11	36,13	36,13	36,62	36,62	195	40,53	40,04	39,06	37,6	37,11
5	37,11	36,13	36,13	36,62	36,62	200	41,02	40,04	39,55	37,6	37,11
10	36,62	36,13	36,13	36,13	36,62	205	41,02	40,53	39,55	37,6	37,11
15	37,11	36,13	36,62	36,62	36,62	210	41,5	40,53	39,55	37,6	37,11
20	37,6	36,62	36,62	36,62	36,62	215	41,99	41,02	39,05	37,6	37,11
25	37,6	36,62	36,62	36,62	36,62	220	41,99	41,02	39,55	37,6	37,11
30	36,62	37,11	36,62	36,62	36,62	225	42,48	41,02	39,55	37,6	37,11
35	38,09	36,62	36,62	36,62	36,62	230	42,48	41,5	40,04	37,6	37,11
40	37,6	36,62	36,62	36,62	36,62	235	42,97	41,5	39,55	37,6	37,11
45	37,6	37,11	37,11	36,62	37,11	240	43,46	41,5	40,04	38,09	37,11
50	38,09	37,11	36,62	37,11	36,62	245	43,46	41,99	40,04	37,6	37,11
55	38,09	37,11	37,11	36,62	36,62	250	43,95	41,99	40,04	38,09	37,11
60	38,09	37,11	37,11	37,11	37,11	255	43,95	42,48	40,53	38,09	37,11
65	38,09	37,11	37,11	37,11	37,11	260	43,95	41,99	40,53	38,09	37,6
70	38,57	36,13	37,11	36,62	37,11	265	44,43	42,48	40,53	38,09	37,6
75	38,09	37,11	37,11	37,11	36,62	270	44,43	42,97	40,53	38,09	37,6
80	38,09	37,11	37,11	36,62	36,62	275	44,92	42,97	40,53	38,09	37,6
85	38,57	36,62	37,11	37,11	37,11	280	44,92	42,97	40,53	38,09	37,6
90	38,09	37,11	37,11	37,11	37,11	285	44,92	42,48	41,02	38,09	37,6
95	37,6	36,62	36,62	37,11	37,11	290	44,92	43,46	41,02	38,09	37,11
100	38,09	37,11	37,11	37,11	36,62	295	45,9	43,95	41,02	38,57	37,6
105	38,09	37,6	37,11	37,11	37,11	300	45,41	44,43	41,02	38,09	37,6
110	38,09	37,11	37,11	37,11	37,11	305	45,9	43,46	41,5	38,09	37,6
115	37,11	36,13	37,11	37,11	37,11	310	45,9	43,95	41,02	38,57	37,6
120	38,57	37,11	37,11	36,62	37,11	315	46,39	43,95	41,5	38,57	37,6
125	38,09	37,11	36,62	37,11	36,62	320	46,39	44,43	41,5	38,57	37,6
130	38,09	37,11	36,62	37,11	37,11	325	46,39	43,95	41,5	38,57	37,6
135	38,09	37,11	36,62	37,11	37,11	330	46,39	44,43	41,99	38,57	37,6
140	38,57	37,11	37,11	37,11	37,11	335	46,88	44,92	41,99	38,57	37,6
145	39,06	37,11	37,11	37,11	37,11	340	46,88	44,92	41,5	38,57	37,6
150	38,57	37,6	37,11	37,11	37,11	345	46,39	44,43	41,99	39,06	38,09
155	38,09	37,11	37,11	37,11	37,11	350	46,88	44,92	41,99	38,57	38,09
160	38,57	37,11	37,11	37,11	37,11	355	47,36	44,92	41,99	38,57	38,09
165	38,57	37,6	37,6	37,11	37,11	360	46,88	44,92	39,06	39,06	38,09
170	38,57	38,09	38,09	37,6	37,11	365	47,36	44,92	42,48	39,06	37,6
175	40,04	39,06	38,09	37,11	37,11	370	48,34	44,43	42,48	39,06	38,09
180	39,06	38,09	38,57	37,11	37,11	375	47,85	45,9	42,48	39,06	38,09
185	40,53	40,04	39,06	37,6	36,62	380	47,85	45,9	42,97	39,06	38,09

Lampiran 5. Tabel perhitungan $\frac{dT}{dx}$ konduktivitas panas gabah

t (sekon)	dT/dx Gabah Basah			
	B-A	C-B	D-C	E-D
430	-2,344	-0,196	-0,388	-0,196
435	-2,54	-0,392	-0,192	-0,196
440	-2,54	-0,196	-0,388	-0,196
445	-2,54	-0,196	-0,388	-0,196
450	-2,344	-0,588	-0,192	-0,196
455	-2,54	-0,392	-0,388	-0,196
460	-2,54	-0,392	-0,388	-0,196
465	-2,54	-0,392	-0,388	-0,196
470	-2,54	1,172	-1,952	-0,196
475	-2,54	-0,392	-0,196	-0,388
480	-2,54	-0,392	-0,196	-0,388
485	-2,736	-0,196	-0,392	-0,388
490	-2,54	-0,392	-0,392	-0,388
495	-2,736	-0,392	-0,196	-0,388
500	-2,54	-0,392	-0,392	-0,192
505	-2,54	-0,392	-0,392	-0,192
510	-2,732	-0,392	-0,392	-0,192
515	-2,732	-0,392	-0,392	-0,192
520	-2,732	-0,392	-0,392	-0,192
525	-2,732	-0,392	-0,392	-0,192
530	-2,732	-0,392	-0,392	-0,192
535	-2,732	-0,196	-0,392	-0,388
540	-2,732	-0,392	-0,588	-0,192
545	-2,732	-0,392	-0,392	-0,388
550	-2,732	-0,392	-0,392	-0,388
555	-2,732	-0,392	-0,392	-0,388
560	-2,732	-0,392	-0,392	-0,388
565	-2,928	3,32	-4,104	-0,388
570	-2,928	-0,196	-0,588	-0,388
575	-2,736	-0,388	-0,588	-0,388
580	-2,736	-0,388	-0,588	-0,388
585	-2,736	-0,388	-0,588	-0,388
590	-2,932	-0,388	-0,588	-0,388
595	-2,932	-0,388	-0,588	-0,388
600	-2,932	-0,388	-0,588	-0,196
605	-2,932	-0,388	-0,392	-0,392

610	-2,932	-0,388	-0,392	-0,392
615	-2,932	-0,388	-0,392	-0,392
620	-2,932	-0,388	-0,392	-0,392
625	-2,932	-0,584	-0,392	-0,392
630	-2,932	-0,388	-0,588	-0,392
635	-2,932	0,196	-1,172	-0,392
rata-rata	-2,7161	-0,23257	-0,554	-0,30562
s. Deviasi	0,173907	0,628673	0,63756929	0,098874
hasil	$(-2,7 \pm 0,2)$	$(-0,2 \pm 0,6)$	$(-0,5 \pm 0,6)$	$(-0,3 \pm 0,1)$

t sekon	dT/dx Gabah Basah/Kering			
	B-A	C-B	D-C	E-D
100	-1,368	0	-0,388	-0,392
105	-1,172	0	-0,388	-0,392
110	-0,976	-0,196	-0,388	-0,392
115	-1,172	-0,388	0	-0,588
120	-1,172	-0,196	-0,388	-0,392
125	-0,976	-0,196	-0,388	-0,392
130	-1,172	-0,196	-0,388	-0,392
135	-1,172	-0,196	-0,388	-0,392
140	-0,976	-0,392	-0,388	-0,392
145	-0,976	-0,392	-0,388	-0,392
150	-0,976	-0,584	-0,196	-0,392
155	-0,976	-0,392	-0,388	-0,392
160	-0,196	-0,588	-0,388	-0,392
165	-1,172	-0,392	-0,388	-0,392
170	-1,172	-0,392	-0,388	-0,392
175	-1,172	-0,392	-0,388	-0,392
180	-1,172	-0,588	-0,192	-0,588
185	-0,976	-0,588	-0,388	-0,196
190	-1,172	-0,588	-0,388	-0,392
195	-0,976	-0,588	-0,388	-0,392
200	-0,976	-0,784	-0,388	-0,392
205	-1,172	-0,588	-0,192	-0,588
210	-1,172	-0,588	-0,192	-0,588
215	-1,368	-0,392	-0,388	-0,392
220	-1,564	-0,392	-0,192	-0,588
225	-1,172	-0,588	-0,192	-0,588
230	-1,172	-0,588	-0,192	-0,392

235	-1,172	-0,784	-0,192	-0,588
240	-1,368	-0,588	-0,192	-0,588
245	-0,78	-0,784	-0,388	-0,392
250	-1,172	-0,784	-0,192	-0,588
255	-1,172	-0,784	-0,192	-0,588
260	-1,564	-0,392	-0,584	-0,392
265	-0,976	-0,784	-0,192	-0,588
270	-1,172	-0,784	-0,192	-0,588
275	-1,172	-0,784	-0,388	-0,392
280	-1,172	-0,588	-0,388	-0,588
285	-1,172	-0,588	-0,388	-0,588
290	-0,976	-0,98	-0,192	-0,588
295	-1,368	-0,588	-0,584	-0,392
300	-1,368	-0,588	-0,388	-0,588
rata-rata	-1,12907	-0,51132	-0,32127	-0,46371
S.deviasi	0,22376	0,230132	0,122062	0,106489
Hasil	$(-1,1 \pm 0,2)$	$(-0,5 \pm 0,2)$	$(-0,3 \pm 0,1)$	$(-0,4 \pm 0,1)$

t sekon	dT/dx Gabah Kering			
	B-A	C-B	D-C	E-D
270	-0,584	-0,976	-0,976	-0,196
275	-0,78	-0,976	-0,976	-0,196
280	-0,78	-0,976	-0,976	-0,196
285	-0,976	-0,584	-1,172	-0,196
290	-0,584	-0,976	-1,172	-0,392
295	-0,78	-1,172	-0,98	-0,388
300	-0,392	-1,364	-1,172	-0,196
305	-0,976	-0,784	-1,364	-0,196
310	-0,78	-1,172	-0,98	-0,388
315	-0,976	-0,98	-1,172	-0,388
320	-0,784	-1,172	-1,172	-0,388
325	-0,976	-0,98	-1,172	-0,388
330	-0,784	-0,976	-1,368	-0,388
335	-0,784	-1,172	-1,368	-0,388
340	-0,784	-1,368	-1,172	-0,388
345	-0,784	-0,976	-1,172	-0,388
350	-0,784	-1,172	-1,368	-0,192
355	-0,976	-1,172	-1,368	-0,192

360	-0,784	-2,344	0	-0,388
365	-0,976	-0,976	-1,368	-0,584
370	-1,564	-0,78	-1,368	-0,388
rata-rata	-0,83752	-1,09752	-1,13505	-0,324
s. deviasi	0,218561	0,332736	0,292871	0,109203
hasil	$(-0,7 \pm 0,3)$	$(-0,8 \pm 0,4)$	$(-1,0 \pm 0,3)$	$(-0,3 \pm 0,1)$

Lampiran 6. Proses rata-rata berbobot $\frac{dT}{dx}$ konduktivitas panas gabah

Gabah Basah			
x_i	s_i	w_i	$x_i \times w_i$
-0,2	0,6	2,78	-0,56
-0,5	0,6	2,78	-1,39
-0,3	0,1	100	-30
Jumlah		105,56	-31,94

$$w_i = \frac{1}{s_i^2}$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\sum x_i \times w_i}{\sum w_i} = -0,302$$

$$\Delta \frac{dT}{dx} = \sqrt{\frac{1}{w_i}} = 0,097$$

Gabah Basah/Kering			
x_i	s_i	w_i	$x_i \times w_i$
-0,5	0,2	25	-12,5
-0,3	0,1	100	-30
-0,4	0,1	100	-40
Jumlah		225	-82,5

$$w_i = \frac{1}{s_i^2}$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\sum x_i \times w_i}{\sum w_i} = -0,36$$

$$\Delta \frac{dT}{dx} = \sqrt{\frac{1}{w_i}} = 0,067$$

Gabah Kering			
x_i	s_i	w_i	$x_i \times w_i$
-0,8	0,2	25	-20
-1,1	0,3	11,11	-12,22
-1,1	0,3	11,11	-12,22
Jumlah		47,22	-44,44

$$w_i = \frac{1}{s_i^2}$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{\sum x_i \times w_i}{\sum w_i} = -0,94$$

$$\Delta \frac{dT}{dx} = \sqrt{\frac{1}{w_i}} = 0,14$$

Lampiran 7. Tabel potongan data tegangan *output* transformator *step-down*

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
1	2097,732	0,491	37	2105,896	0,4605
2	2097,959	0,4904	38	2106,122	0,4592
3	2098,186	0,4892	39	2106,349	0,4574
4	2098,413	0,4884	40	2106,576	0,4562
5	2098,639	0,4873	41	2106,803	0,4551
6	2098,866	0,486	42	2107,029	0,4537
7	2099,093	0,4856	43	2107,256	0,4527
8	2099,32	0,4848	44	2107,483	0,4513
9	2099,546	0,484	45	2107,71	0,4502
10	2099,773	0,4835	46	2107,936	0,4493
11	2100	0,4827	47	2108,163	0,4479
12	2100,227	0,4821	48	2108,39	0,4469
13	2100,454	0,4817	49	2108,617	0,4457
14	2100,68	0,4809	50	2108,843	0,444
15	2100,907	0,4804	51	2109,07	0,4428
16	2101,134	0,4797	52	2109,297	0,4418
17	2101,361	0,4785	53	2109,524	0,4406
18	2101,587	0,4784	54	2109,751	0,4398
19	2101,814	0,478	55	2109,977	0,4385
20	2102,041	0,4773	56	2110,204	0,4374
21	2102,268	0,4772	57	2110,431	0,4365
22	2102,494	0,4766	58	2110,658	0,4352
23	2102,721	0,476	59	2110,884	0,4341
24	2102,948	0,4755	60	2111,111	0,4331
25	2103,175	0,4743	61	2111,338	0,4315
26	2103,401	0,4734	62	2111,565	0,4303
27	2103,628	0,4723	63	2111,791	0,4293
28	2103,855	0,4706	64	2112,018	0,4281
29	2104,082	0,4698	65	2112,245	0,4272
30	2104,308	0,4688	66	2112,472	0,426
31	2104,535	0,4674	67	2112,698	0,4248
32	2104,762	0,4665	68	2112,925	0,4239
33	2104,989	0,4652	69	2113,152	0,4225
34	2105,215	0,464	70	2113,379	0,4214
35	2105,442	0,4631	71	2113,605	0,4203
36	2105,669	0,4616	72	2113,832	0,4187

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
73	2114,059	0,4175	111	2122,676	0,3692
74	2114,286	0,4162	112	2122,902	0,3676
75	2114,512	0,415	113	2123,129	0,3657
76	2114,739	0,4141	114	2123,356	0,3639
77	2114,966	0,4128	115	2123,583	0,3622
78	2115,193	0,4115	116	2123,809	0,3597
79	2115,42	0,4106	117	2124,036	0,3573
80	2115,646	0,4092	118	2124,263	0,3543
81	2115,873	0,408	119	2124,49	0,3506
82	2116,1	0,4069	120	2124,716	0,3474
83	2116,327	0,4053	121	2124,943	0,3439
84	2116,553	0,404	122	2125,17	0,3401
85	2116,78	0,4026	123	2125,397	0,3366
86	2117,007	0,4013	124	2125,624	0,3327
87	2117,234	0,4003	125	2125,85	0,3286
88	2117,46	0,399	126	2126,077	0,3247
89	2117,687	0,3977	127	2126,304	0,3203
90	2117,914	0,3969	128	2126,531	0,3163
91	2118,141	0,3956	129	2126,757	0,3123
92	2118,367	0,3945	130	2126,984	0,3079
93	2118,594	0,3934	131	2127,211	0,3043
94	2118,821	0,3918	132	2127,438	0,3006
95	2119,048	0,3905	133	2127,664	0,2968
96	2119,274	0,3891	134	2127,891	0,2935
97	2119,501	0,3878	135	2128,118	0,2901
98	2119,728	0,3869	136	2128,345	0,2869
99	2119,955	0,3857	137	2128,571	0,2841
100	2120,181	0,3843	138	2128,798	0,2811
101	2120,408	0,3834	139	2129,025	0,2784
102	2120,635	0,382	140	2129,252	0,2758
103	2120,862	0,3808	141	2129,478	0,2729
104	2121,089	0,3798	142	2129,705	0,2705
105	2121,315	0,3783	143	2129,932	0,268
106	2121,542	0,377	144	2130,159	0,2652
107	2121,769	0,3754	145	2130,385	0,2626
108	2121,996	0,3738	146	2130,612	0,2598
109	2122,222	0,3726	147	2130,839	0,257
110	2122,449	0,371	148	2131,066	0,2544

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
149	2131,293	0,2514	187	2139,909	0,1173
150	2131,519	0,2484	188	2140,136	0,1132
151	2131,746	0,2454	189	2140,363	0,1092
152	2131,973	0,2418	190	2140,59	0,1053
153	2132,2	0,2385	191	2140,816	0,1012
154	2132,426	0,2353	192	2141,043	0,0973
155	2132,653	0,2318	193	2141,27	0,0932
156	2132,88	0,2285	194	2141,497	0,0889
157	2133,107	0,2249	195	2141,723	0,0848
158	2133,333	0,2213	196	2141,95	0,0806
159	2133,56	0,218	197	2142,177	0,0763
160	2133,787	0,2144	198	2142,404	0,0722
161	2134,014	0,2109	199	2142,63	0,0679
162	2134,24	0,2076	200	2142,857	0,0638
163	2134,467	0,2039	201	2143,084	0,0597
164	2134,694	0,2004	202	2143,311	0,0555
165	2134,921	0,1971	203	2143,537	0,0516
166	2135,147	0,1936	204	2143,764	0,0476
167	2135,374	0,1903	205	2143,991	0,0436
168	2135,601	0,1867	206	2144,218	0,0398
169	2135,828	0,1831	207	2144,444	0,0358
170	2136,054	0,1797	208	2144,671	0,0319
171	2136,281	0,1761	209	2144,898	0,0281
172	2136,508	0,1725	210	2145,125	0,0242
173	2136,735	0,169	211	2145,351	0,0204
174	2136,962	0,1653	212	2145,578	0,0168
175	2137,188	0,1616	213	2145,805	0,0129
176	2137,415	0,1581	214	2146,032	0,0093
177	2137,642	0,1545	215	2146,259	0,0056
178	2137,869	0,1511	216	2146,485	0,0019
179	2138,095	0,1477	217	2146,712	-0,0017
180	2138,322	0,1441	218	2146,939	-0,0053
181	2138,549	0,1407	219	2147,166	-0,009
182	2138,775	0,137	220	2147,392	-0,0124
183	2139,002	0,1332	221	2147,619	-0,016
184	2139,229	0,1294	222	2147,846	-0,0195
185	2139,456	0,1253	223	2148,073	-0,0229
186	2139,682	0,1213	224	2148,299	-0,0264

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
225	2148,526	-0,0297	263	2157,143	-0,1582
226	2148,753	-0,0331	264	2157,37	-0,1612
227	2148,98	-0,0366	265	2157,596	-0,1642
228	2149,206	-0,0399	266	2157,823	-0,1674
229	2149,433	-0,0433	267	2158,05	-0,1704
230	2149,66	-0,0468	268	2158,277	-0,1734
231	2149,887	-0,05	269	2158,503	-0,1763
232	2150,113	-0,0534	270	2158,73	-0,179
233	2150,34	-0,0569	271	2158,957	-0,1818
234	2150,567	-0,0602	272	2159,184	-0,1845
235	2150,794	-0,0639	273	2159,41	-0,1872
236	2151,02	-0,0676	274	2159,637	-0,1902
237	2151,247	-0,0713	275	2159,864	-0,193
238	2151,474	-0,0752	276	2160,091	-0,1958
239	2151,701	-0,079	277	2160,317	-0,1987
240	2151,928	-0,0828	278	2160,544	-0,2016
241	2152,154	-0,0866	279	2160,771	-0,2046
242	2152,381	-0,0903	280	2160,998	-0,2076
243	2152,608	-0,094	281	2161,224	-0,2105
244	2152,835	-0,0979	282	2161,451	-0,2137
245	2153,061	-0,1016	283	2161,678	-0,2169
246	2153,288	-0,1054	284	2161,905	-0,2199
247	2153,515	-0,1091	285	2162,132	-0,2233
248	2153,742	-0,1126	286	2162,358	-0,2265
249	2153,968	-0,1163	287	2162,585	-0,2295
250	2154,195	-0,1198	288	2162,812	-0,2327
251	2154,422	-0,1231	289	2163,039	-0,2357
252	2154,648	-0,1264	290	2163,265	-0,2388
253	2154,875	-0,1295	291	2163,492	-0,242
254	2155,102	-0,1325	292	2163,719	-0,245
255	2155,329	-0,1355	293	2163,946	-0,2482
256	2155,555	-0,1382	294	2164,172	-0,2515
257	2155,782	-0,1411	295	2164,399	-0,2545
258	2156,009	-0,1438	296	2164,626	-0,2577
259	2156,236	-0,1465	297	2164,853	-0,2606
260	2156,463	-0,1494	298	2165,079	-0,2633
261	2156,689	-0,1523	299	2165,306	-0,2661
262	2156,916	-0,1551	300	2165,533	-0,2687

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
301	2165,76	-0,2715	339	2174,376	-0,3756
302	2165,986	-0,2744	340	2174,603	-0,378
303	2166,213	-0,2771	341	2174,83	-0,3805
304	2166,44	-0,2799	342	2175,057	-0,3828
305	2166,667	-0,283	343	2175,283	-0,3853
306	2166,893	-0,2858	344	2175,51	-0,3876
307	2167,12	-0,289	345	2175,737	-0,3897
308	2167,347	-0,292	346	2175,964	-0,3925
309	2167,574	-0,2947	347	2176,19	-0,3948
310	2167,801	-0,2978	348	2176,417	-0,3971
311	2168,027	-0,3006	349	2176,644	-0,3995
312	2168,254	-0,3038	350	2176,871	-0,4016
313	2168,481	-0,3073	351	2177,097	-0,4039
314	2168,708	-0,3104	352	2177,324	-0,4061
315	2168,934	-0,3137	353	2177,551	-0,408
316	2169,161	-0,3169	354	2177,778	-0,4101
317	2169,388	-0,3199	355	2178,005	-0,4119
318	2169,615	-0,323	356	2178,231	-0,4135
319	2169,841	-0,3261	357	2178,458	-0,4159
320	2170,068	-0,3289	358	2178,685	-0,4179
321	2170,295	-0,3318	359	2178,912	-0,4199
322	2170,521	-0,3345	360	2179,138	-0,4221
323	2170,748	-0,3371	361	2179,365	-0,4239
324	2170,975	-0,3402	362	2179,592	-0,4258
325	2171,202	-0,3427	363	2179,819	-0,4278
326	2171,429	-0,3454	364	2180,045	-0,4294
327	2171,655	-0,3481	365	2180,272	-0,4312
328	2171,882	-0,3504	366	2180,499	-0,4328
329	2172,109	-0,3528	367	2180,726	-0,434
330	2172,336	-0,355	368	2180,952	-0,4358
331	2172,562	-0,3569	369	2181,179	-0,4374
332	2172,789	-0,3593	370	2181,406	-0,4389
333	2173,016	-0,3616	371	2181,633	-0,4407
334	2173,243	-0,364	372	2181,859	-0,442
335	2173,469	-0,367	373	2182,086	-0,4435
336	2173,696	-0,3693	374	2182,313	-0,4451
337	2173,923	-0,3714	375	2182,54	-0,4463
338	2174,15	-0,3736	376	2182,766	-0,4478

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
377	2182,993	-0,4492	415	2191,61	-0,4858
378	2183,22	-0,45	416	2191,837	-0,4868
379	2183,447	-0,4514	417	2192,063	-0,4879
380	2183,674	-0,4528	418	2192,29	-0,4892
381	2183,9	-0,4541	419	2192,517	-0,49
382	2184,127	-0,4559	420	2192,744	-0,4911
383	2184,354	-0,4574	421	2192,971	-0,4922
384	2184,581	-0,4591	422	2193,197	-0,4928
385	2184,807	-0,4609	423	2193,424	-0,4938
386	2185,034	-0,4621	424	2193,651	-0,4944
387	2185,261	-0,4635	425	2193,878	-0,4953
388	2185,488	-0,4646	426	2194,104	-0,4965
389	2185,714	-0,4653	427	2194,331	-0,4972
390	2185,941	-0,4666	428	2194,558	-0,4978
391	2186,168	-0,4681	429	2194,785	-0,4986
392	2186,395	-0,4694	430	2195,011	-0,4989
393	2186,621	-0,471	431	2195,238	-0,4994
394	2186,848	-0,4719	432	2195,465	-0,4998
395	2187,075	-0,4728	433	2195,692	-0,4995
396	2187,302	-0,4739	434	2195,918	-0,4995
397	2187,528	-0,4745	435	2196,145	-0,499
398	2187,755	-0,4754	436	2196,372	-0,4985
399	2187,982	-0,476	437	2196,599	-0,4986
400	2188,209	-0,4762	438	2196,825	-0,4981
401	2188,435	-0,4765	439	2197,052	-0,4975
402	2188,662	-0,4769	440	2197,279	-0,4973
403	2188,889	-0,4772	441	2197,506	-0,4965
404	2189,116	-0,4779	442	2197,732	-0,4959
405	2189,342	-0,4782	443	2197,959	-0,4954
406	2189,569	-0,4785	444	2198,186	-0,4942
407	2189,796	-0,4792	445	2198,413	-0,4934
408	2190,023	-0,4795	446	2198,64	-0,4924
409	2190,249	-0,4804	447	2198,866	-0,4912
410	2190,476	-0,4813	448	2199,093	-0,4909
411	2190,703	-0,4817	449	2199,32	-0,4903
412	2190,93	-0,4826	450	2199,547	-0,4895
413	2191,156	-0,4834	451	2199,773	-0,4891
414	2191,383	-0,4843	452	2200	-0,4883

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
453	2200,227	-0,4878	491	2208,844	-0,4493
454	2200,454	-0,4875	492	2209,07	-0,4481
455	2200,68	-0,4867	493	2209,297	-0,4471
456	2200,907	-0,4862	494	2209,524	-0,4459
457	2201,134	-0,4855	495	2209,751	-0,4451
458	2201,361	-0,4843	496	2209,977	-0,4439
459	2201,587	-0,4842	497	2210,204	-0,4427
460	2201,814	-0,4836	498	2210,431	-0,4419
461	2202,041	-0,483	499	2210,658	-0,4406
462	2202,268	-0,4826	500	2210,884	-0,4395
463	2202,494	-0,4818	501	2211,111	-0,4384
464	2202,721	-0,481	502	2211,338	-0,4368
465	2202,948	-0,4803	503	2211,565	-0,4356
466	2203,175	-0,4791	504	2211,791	-0,4346
467	2203,401	-0,4781	505	2212,018	-0,4335
468	2203,628	-0,4771	506	2212,245	-0,4327
469	2203,855	-0,4755	507	2212,472	-0,4315
470	2204,082	-0,4747	508	2212,698	-0,4304
471	2204,308	-0,4736	509	2212,925	-0,4295
472	2204,535	-0,4723	510	2213,152	-0,4281
473	2204,762	-0,4714	511	2213,379	-0,427
474	2204,989	-0,4701	512	2213,605	-0,4259
475	2205,215	-0,469	513	2213,832	-0,4243
476	2205,442	-0,4681	514	2214,059	-0,4231
477	2205,669	-0,4667	515	2214,286	-0,4219
478	2205,896	-0,4655	516	2214,513	-0,4206
479	2206,122	-0,4643	517	2214,739	-0,4197
480	2206,349	-0,4626	518	2214,966	-0,4185
481	2206,576	-0,4615	519	2215,193	-0,4171
482	2206,803	-0,4605	520	2215,42	-0,4162
483	2207,029	-0,4591	521	2215,646	-0,4147
484	2207,256	-0,4582	522	2215,873	-0,4135
485	2207,483	-0,4568	523	2216,1	-0,4124
486	2207,71	-0,4555	524	2216,327	-0,4108
487	2207,936	-0,4546	525	2216,553	-0,4095
488	2208,163	-0,4532	526	2216,78	-0,408
489	2208,39	-0,4521	527	2217,007	-0,4068
490	2208,617	-0,4509	528	2217,234	-0,4058

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
529	2217,46	-0,4046	567	2226,077	-0,332
530	2217,687	-0,4033	568	2226,304	-0,3277
531	2217,914	-0,4025	569	2226,531	-0,3235
532	2218,141	-0,4011	570	2226,757	-0,3193
533	2218,367	-0,4	571	2226,984	-0,3148
534	2218,594	-0,3989	572	2227,211	-0,311
535	2218,821	-0,3974	573	2227,438	-0,3071
536	2219,048	-0,3961	574	2227,664	-0,3031
537	2219,274	-0,3947	575	2227,891	-0,2995
538	2219,501	-0,3934	576	2228,118	-0,2959
539	2219,728	-0,3927	577	2228,345	-0,2923
540	2219,955	-0,3915	578	2228,571	-0,2893
541	2220,181	-0,3902	579	2228,798	-0,286
542	2220,408	-0,3892	580	2229,025	-0,2831
543	2220,635	-0,3878	581	2229,252	-0,2804
544	2220,862	-0,3866	582	2229,479	-0,2774
545	2221,088	-0,3856	583	2229,705	-0,275
546	2221,315	-0,3841	584	2229,932	-0,2725
547	2221,542	-0,3829	585	2230,159	-0,2698
548	2221,769	-0,3815	586	2230,386	-0,2674
549	2221,995	-0,38	587	2230,612	-0,2647
550	2222,222	-0,3789	588	2230,839	-0,2619
551	2222,449	-0,3775	589	2231,066	-0,2593
552	2222,676	-0,3757	590	2231,293	-0,2563
553	2222,902	-0,3742	591	2231,519	-0,2534
554	2223,129	-0,3723	592	2231,746	-0,2505
555	2223,356	-0,3704	593	2231,973	-0,2472
556	2223,583	-0,3688	594	2232,2	-0,2441
557	2223,81	-0,3665	595	2232,426	-0,2411
558	2224,036	-0,3643	596	2232,653	-0,2377
559	2224,263	-0,3616	597	2232,88	-0,2346
560	2224,49	-0,3583	598	2233,107	-0,2312
561	2224,717	-0,3553	599	2233,333	-0,2277
562	2224,943	-0,3517	600	2233,56	-0,2244
563	2225,17	-0,3477	601	2233,787	-0,2209
564	2225,397	-0,3439	602	2234,014	-0,2175
565	2225,624	-0,3399	603	2234,24	-0,2141
566	2225,85	-0,3359	604	2234,467	-0,2103

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
605	2234,694	-0,2067	643	2243,311	-0,0608
606	2234,921	-0,2032	644	2243,537	-0,0569
607	2235,147	-0,1994	645	2243,764	-0,053
608	2235,374	-0,1959	646	2243,991	-0,0491
609	2235,601	-0,1923	647	2244,218	-0,0453
610	2235,828	-0,1885	648	2244,444	-0,0413
611	2236,054	-0,1851	649	2244,671	-0,0374
612	2236,281	-0,1813	650	2244,898	-0,0335
613	2236,508	-0,1777	651	2245,125	-0,0295
614	2236,735	-0,1742	652	2245,352	-0,0257
615	2236,961	-0,1703	653	2245,578	-0,0219
616	2237,188	-0,1666	654	2245,805	-0,018
617	2237,415	-0,1631	655	2246,032	-0,0142
618	2237,642	-0,1594	656	2246,259	-0,0105
619	2237,868	-0,1559	657	2246,485	-0,0066
620	2238,095	-0,1522	658	2246,712	-0,003
621	2238,322	-0,1484	659	2246,939	0,0008
622	2238,549	-0,1448	660	2247,166	0,0045
623	2238,775	-0,1409	661	2247,392	0,008
624	2239,002	-0,137	662	2247,619	0,0116
625	2239,229	-0,1332	663	2247,846	0,015
626	2239,456	-0,1291	664	2248,073	0,0184
627	2239,683	-0,1251	665	2248,299	0,0219
628	2239,909	-0,1212	666	2248,526	0,0252
629	2240,136	-0,1172	667	2248,753	0,0285
630	2240,363	-0,1135	668	2248,98	0,0319
631	2240,59	-0,1096	669	2249,206	0,0351
632	2240,816	-0,1056	670	2249,433	0,0383
633	2241,043	-0,1017	671	2249,66	0,0416
634	2241,27	-0,0977	672	2249,887	0,0448
635	2241,497	-0,0935	673	2250,113	0,0481
636	2241,723	-0,0895	674	2250,34	0,0516
637	2241,95	-0,0852	675	2250,567	0,055
638	2242,177	-0,0811	676	2250,794	0,0586
639	2242,404	-0,077	677	2251,02	0,0623
640	2242,63	-0,0729	678	2251,247	0,0661
641	2242,857	-0,0689	679	2251,474	0,0699
642	2243,084	-0,065	680	2251,701	0,0737

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
681	2251,927	0,0774	719	2260,544	0,197
682	2252,154	0,0812	720	2260,771	0,1999
683	2252,381	0,0848	721	2260,998	0,2029
684	2252,608	0,0886	722	2261,225	0,2058
685	2252,834	0,0925	723	2261,451	0,2089
686	2253,061	0,0962	724	2261,678	0,212
687	2253,288	0,1001	725	2261,905	0,215
688	2253,515	0,104	726	2262,132	0,2183
689	2253,741	0,1076	727	2262,358	0,2215
690	2253,968	0,1114	728	2262,585	0,2246
691	2254,195	0,115	729	2262,812	0,2278
692	2254,422	0,1183	730	2263,039	0,231
693	2254,649	0,1217	731	2263,265	0,2343
694	2254,875	0,1248	732	2263,492	0,2377
695	2255,102	0,1278	733	2263,719	0,2408
696	2255,329	0,1309	734	2263,946	0,244
697	2255,556	0,1338	735	2264,172	0,2472
698	2255,782	0,1369	736	2264,399	0,2501
699	2256,009	0,14	737	2264,626	0,2532
700	2256,236	0,1429	738	2264,853	0,2561
701	2256,463	0,1458	739	2265,079	0,2587
702	2256,689	0,1487	740	2265,306	0,2616
703	2256,916	0,1514	741	2265,533	0,2643
704	2257,143	0,1543	742	2265,76	0,2671
705	2257,37	0,1572	743	2265,986	0,2703
706	2257,596	0,1601	744	2266,213	0,2731
707	2257,823	0,1632	745	2266,44	0,2762
708	2258,05	0,1662	746	2266,667	0,2794
709	2258,277	0,1693	747	2266,893	0,2823
710	2258,503	0,1724	748	2267,12	0,2855
711	2258,73	0,1752	749	2267,347	0,2886
712	2258,957	0,1781	750	2267,574	0,2914
713	2259,184	0,1809	751	2267,8	0,2945
714	2259,41	0,1836	752	2268,027	0,2973
715	2259,637	0,1864	753	2268,254	0,3003
716	2259,864	0,189	754	2268,481	0,3037
717	2260,091	0,1915	755	2268,707	0,3066
718	2260,318	0,1942	756	2268,934	0,3097

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
757	2269,161	0,3129	795	2277,778	0,4084
758	2269,388	0,3158	796	2278,005	0,4103
759	2269,614	0,319	797	2278,231	0,4118
760	2269,841	0,3222	798	2278,458	0,414
761	2270,068	0,325	799	2278,685	0,4158
762	2270,295	0,328	800	2278,912	0,4175
763	2270,522	0,3307	801	2279,138	0,4196
764	2270,748	0,3334	802	2279,365	0,4212
765	2270,975	0,3364	803	2279,592	0,4231
766	2271,202	0,3388	804	2279,819	0,4251
767	2271,429	0,3412	805	2280,045	0,4266
768	2271,655	0,3438	806	2280,272	0,4283
769	2271,882	0,3461	807	2280,499	0,4298
770	2272,109	0,3489	808	2280,726	0,4308
771	2272,336	0,3517	809	2280,952	0,4325
772	2272,562	0,3542	810	2281,179	0,4341
773	2272,789	0,357	811	2281,406	0,4355
774	2273,016	0,3593	812	2281,633	0,4372
775	2273,243	0,3615	813	2281,859	0,4385
776	2273,469	0,3642	814	2282,086	0,44
777	2273,696	0,3665	815	2282,313	0,4416
778	2273,923	0,3688	816	2282,54	0,4428
779	2274,15	0,3714	817	2282,766	0,4444
780	2274,376	0,3736	818	2282,993	0,4458
781	2274,603	0,3762	819	2283,22	0,4468
782	2274,83	0,3788	820	2283,447	0,4484
783	2275,057	0,3811	821	2283,673	0,45
784	2275,283	0,3838	822	2283,9	0,4515
785	2275,51	0,3861	823	2284,127	0,4534
786	2275,737	0,3882	824	2284,354	0,4548
787	2275,964	0,391	825	2284,58	0,4563
788	2276,191	0,3934	826	2284,807	0,458
789	2276,417	0,3957	827	2285,034	0,4593
790	2276,644	0,3983	828	2285,261	0,4609
791	2276,871	0,4003	829	2285,488	0,4623
792	2277,098	0,4025	830	2285,714	0,4632
793	2277,324	0,4046	831	2285,941	0,4645
794	2277,551	0,4064	832	2286,168	0,4658

m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt	m ke-	t x 10 ⁻⁴ sekon	amplitudo mili volt
833	2286,395	0,4669	860	2292,517	0,4865
834	2286,621	0,4683	861	2292,744	0,4876
835	2286,848	0,4691	862	2292,971	0,4887
836	2287,075	0,4699	863	2293,197	0,4893
837	2287,302	0,4709	864	2293,424	0,4902
838	2287,528	0,4713	865	2293,651	0,4907
839	2287,755	0,472	866	2293,878	0,4916
840	2287,982	0,4725	867	2294,104	0,4928
841	2288,209	0,4725	868	2294,331	0,4935
842	2288,435	0,4728	869	2294,558	0,4941
843	2288,662	0,4731	870	2294,785	0,4949
844	2288,889	0,4733	871	2295,011	0,4952
845	2289,116	0,4739	872	2295,238	0,4956
846	2289,342	0,4741	873	2295,465	0,496
847	2289,569	0,4744	874	2295,692	0,4957
848	2289,796	0,4751	875	2295,918	0,4957
849	2290,023	0,4755	876	2296,145	0,4952
850	2290,249	0,4765	877	2296,372	0,4947
851	2290,476	0,4775	878	2296,599	0,4947
852	2290,703	0,478	879	2296,825	0,4942
853	2290,93	0,479	880	2297,052	0,4936
854	2291,157	0,4797	881	2297,279	0,4933
855	2291,383	0,4806	882	2297,506	0,4924
856	2291,61	0,482	883	2297,732	0,4917
857	2291,837	0,483	884	2297,959	0,4911
858	2292,064	0,4841	885	2298,186	0,4899
859	2292,29	0,4855			

Lampiran 8. Pengukuran percepatan gravitasi

No	L (cm)	L (m)	T (sekon)	T ² Sekon ²	B m/s ²	Pi	4*pi ²	g m/s ²
1	350	3,5	3,76	14,1376	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
2	360	3,6	3,8	14,44	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
3	370	3,7	3,88	15,0544	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
4	380	3,8	3,92	15,3664	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
5	390	3,9	3,96	15,6816	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
6	400	4	4,04	16,3216	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
7	410	4,1	4,08	16,6464	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
8	420	4,2	4,12	16,9744	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
9	430	4,3	4,16	17,3056	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
10	440	4,4	4,24	17,9776	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279
11	450	4,5	4,28	18,3184	4,1808	3,141593	39,47842	9,44279

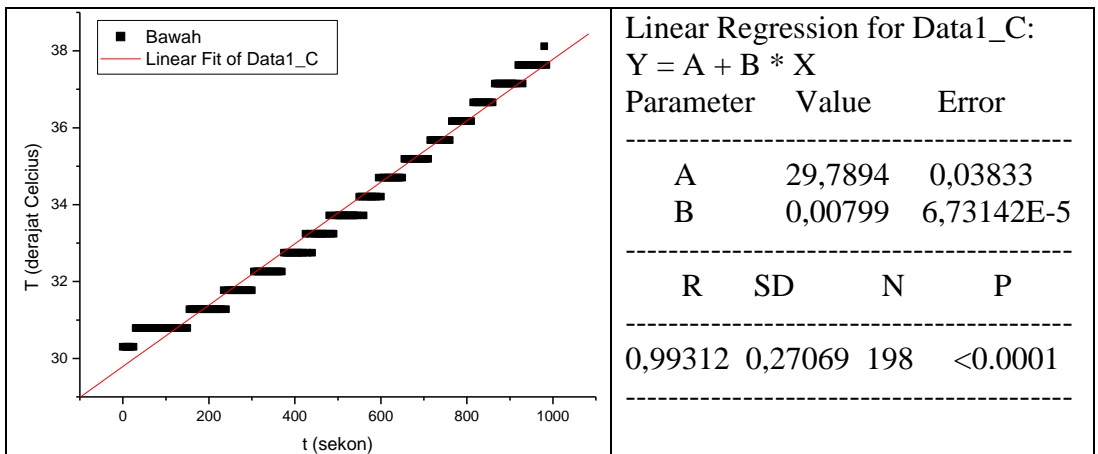
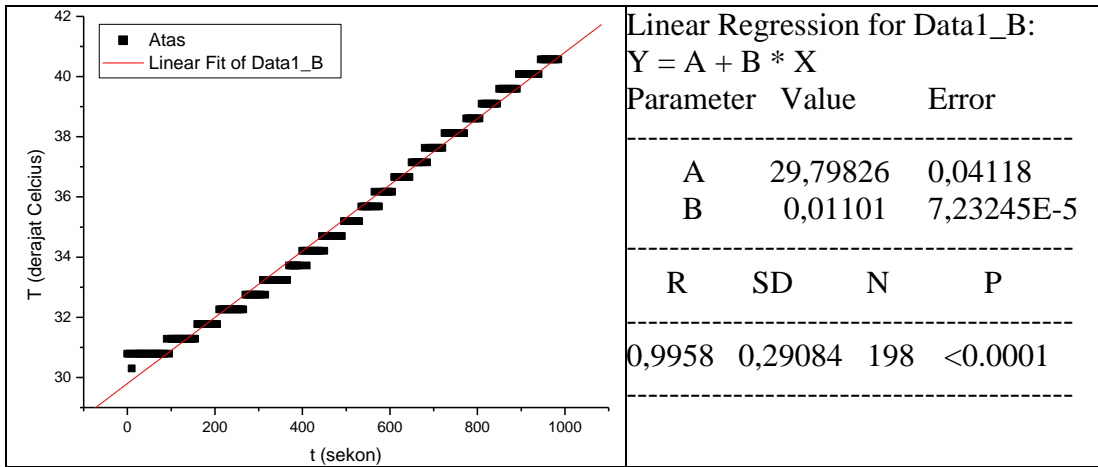
Lampiran 9. Data perubahan suhu terhadap waktu

t sekon	T Atas °C	T Bawah °C	t sekon	T Atas °C	T Bawah °C
0	30,79	30,3	185	31,77	31,28
5	30,79	30,3	190	31,77	31,28
10	30,3	30,3	195	31,77	31,28
15	30,79	30,3	200	31,77	31,28
20	30,79	30,3	205	31,77	31,28
25	30,79	30,3	210	32,26	31,28
30	30,79	30,79	215	32,26	31,28
35	30,79	30,79	220	32,26	31,28
40	30,79	30,79	225	32,26	31,28
45	30,79	30,79	230	32,26	31,28
50	30,79	30,79	235	32,26	31,77
55	30,79	30,79	240	32,26	31,28
60	30,79	30,79	245	32,26	31,77
65	30,79	30,79	250	32,26	31,77
70	30,79	30,79	255	32,26	31,77
75	30,79	30,79	260	32,26	31,77
80	30,79	30,79	265	32,26	31,77
85	30,79	30,79	270	32,75	31,77
90	31,28	30,79	275	32,75	31,77
95	30,79	30,79	280	32,75	31,77
100	31,28	30,79	285	32,75	31,77
105	31,28	30,79	290	32,75	31,77
110	31,28	30,79	295	32,75	31,77
115	31,28	30,79	300	32,75	31,77
120	31,28	30,79	305	32,75	32,26
125	31,28	30,79	310	33,24	32,26
130	31,28	30,79	315	32,75	32,26
135	31,28	30,79	320	33,24	32,26
140	31,28	30,79	325	33,24	32,26
145	31,28	30,79	330	33,24	32,26
150	31,28	30,79	335	33,24	32,26
155	31,28	31,28	340	33,24	32,26
160	31,77	31,28	345	33,24	32,26
165	31,77	31,28	350	33,24	32,26
170	31,77	31,28	355	33,24	32,26
175	31,77	31,28	360	33,24	32,26
180	31,77	31,28	365	33,24	32,26

t sekon	T Atas °C	T Bawah °C	t sekon	T Atas °C	T Bawah °C
370	33,72	32,26	555	35,68	34,21
375	33,72	32,75	560	35,68	33,72
380	33,72	32,75	565	36,17	34,21
385	33,72	32,75	570	35,68	34,21
390	33,72	32,75	575	35,68	34,21
395	33,72	32,75	580	36,17	34,21
400	34,21	32,75	585	36,17	34,21
405	34,21	32,75	590	36,17	34,21
410	33,72	32,75	595	36,17	34,7
415	34,21	32,75	600	36,17	34,21
420	34,21	32,75	605	36,17	34,7
425	34,21	33,24	610	36,66	34,7
430	34,21	32,75	615	36,66	34,7
435	34,21	33,24	620	36,66	34,7
440	34,21	32,75	625	36,66	34,7
445	34,7	33,24	630	36,66	34,7
450	34,21	33,24	635	36,66	34,7
455	34,7	33,24	640	36,66	34,7
460	34,7	33,24	645	36,66	34,7
465	34,7	33,24	650	37,15	34,7
470	34,7	33,24	655	37,15	35,19
475	34,7	33,24	660	37,15	35,19
480	34,7	33,72	665	37,15	35,19
485	34,7	33,24	670	37,15	35,19
490	34,7	33,24	675	37,15	35,19
495	35,19	33,72	680	37,63	35,19
500	35,19	33,72	685	37,15	35,19
505	35,19	33,72	690	37,63	35,19
510	35,19	33,72	695	37,63	35,19
515	35,19	33,72	700	37,63	35,19
520	35,19	33,72	705	37,63	35,19
525	35,19	33,72	710	37,63	35,19
530	35,19	33,72	715	37,63	35,68
535	35,68	33,72	720	37,63	35,68
540	35,68	33,72	725	38,12	35,68
545	35,68	33,72	730	8,12	35,68
550	35,68	34,21	735	38,12	35,68

t sekon	T Atas °C	T Bawah °C	t sekon	T Atas °C	T Bawah °C
740	38,12	35,68	865	39,59	37,15
745	38,12	35,68	870	39,59	37,15
750	38,12	35,68	875	39,59	37,15
755	38,12	35,68	880	39,59	37,15
760	38,12	35,68	885	39,59	37,15
765	38,12	36,17	890	39,59	37,15
770	38,12	36,17	895	40,08	37,15
775	38,61	36,17	900	40,08	37,15
780	38,61	36,17	905	40,08	37,15
785	38,61	36,17	910	40,08	37,15
790	38,61	36,17	915	40,08	37,15
795	38,61	36,17	920	40,08	37,63
800	38,61	36,17	925	40,08	37,63
805	38,61	36,17	930	40,08	37,15
810	39,1	36,17	935	40,08	37,63
815	39,1	36,66	940	40,08	37,63
820	39,1	36,66	945	40,57	37,63
825	39,1	36,66	950	40,57	37,63
830	39,1	36,66	955	40,57	37,63
835	39,1	36,66	960	40,57	37,63
840	39,1	36,66	965	40,57	37,63
845	39,1	36,66	970	40,57	37,63
850	39,59	36,66	975	40,57	37,63
855	39,59	36,66	980	40,57	38,12
860	39,59	36,66	985	40,57	37,63

Lampiran 10. Grafik dan hasil analisis perubahan suhu terhadap waktu



Lampiran 11. Data karakterisasi sensor suhu LM 35DZ

LM 35DZ 1		LM 35DZ 2	
T °C	V volt	T °C	V volt
30	0,32	33	0,34
31	0,33	34	0,35
32	0,34	35	0,36
33	0,35	36	0,37
34	0,36	37	0,38
35	0,37	38	0,39
36	0,38	39	0,4
37	0,39	40	0,41
38	0,4	41	0,42
39	0,4	42	0,43
40	0,42	43	0,44
41	0,42	44	0,45
42	0,43	45	0,46
43	0,44	46	0,47
44	0,45	47	0,48
45	0,46	48	0,48

Lampiran 12. Dokumentasi alat pengering gabah



Gambar 63. Alat pengering gabah



Gambar 64. Model pengaduk



Gambar 65. Motor AC yang terkopel dengan *reducer*