



UNIVERSITAS INDONESIA

**METODE KALIBRASI SEDERHANA DARI SENSOR
KELEMBABAN DHT22 UNTUK IKLIM TROPIS DENGAN
SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS *ARDUINO***

SKRIPSI

NUGRAHA PANCASAPUTRA

1406570562

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
2018**



UNIVERSITAS INDONESIA

**METODE KALIBRASI SEDERHANA DARI SENSOR
KELEMBABAN DHT22 UNTUK IKLIM TROPIS DENGAN
SISTEM AKUISISI DATA BERBASISKAN ARDUINO**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

NUGRAHA PANCASAPUTRA

1406570562

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN**

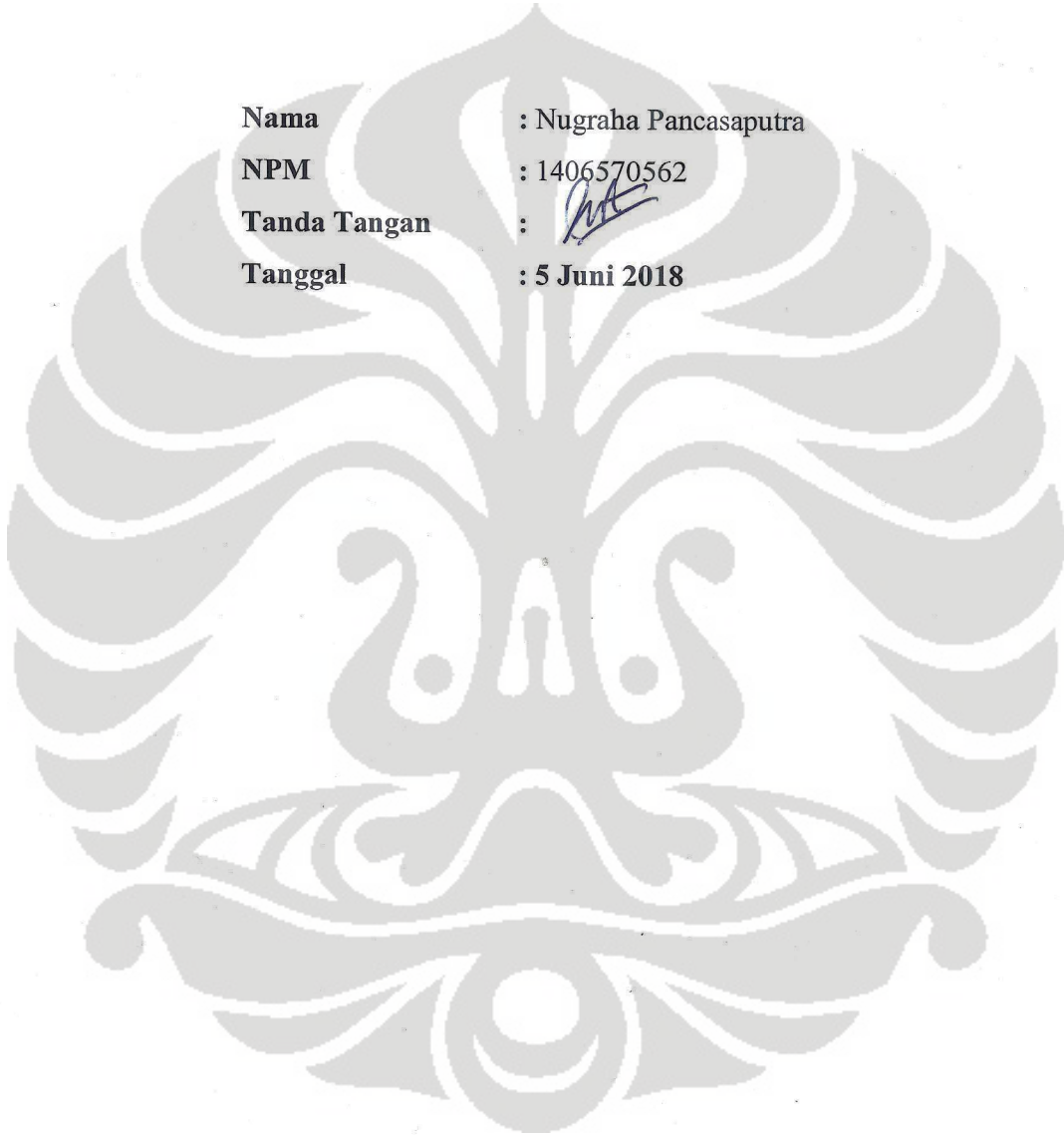
DEPOK

2018

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Nugraha Pancasaputra
NPM : 1406570562
Tanda Tangan : 
Tanggal : 5 Juni 2018



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Nugraha Pancasaputra
NPM : 1406570562
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Metode Kalibrasi Sederhana dari Sensor Kelembaban DHT22
untuk Iklim Tropis dengan Sistem Akuisisi Data Berbasis
Arduino

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng. ()
Penguji : Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T. ()
Penguji : Dr.-Ing. Ridho Irwansyah, S.T., M.T. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 Juni 2018

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang maha Esa, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya dan junjungan nabi besar Muhammad SAW yang menuntun saya kejalan yang benar sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi saya ini. Untuk itu saya mengucapkan banyak terimakasih kepada semua komponen masyarakat Indonesia yang dalam sengaja maupun tidak sengaja membantu saya dalam menyelesaikan skripsi saya. Terlebih teruntuk orang-orang yang *support* saya secara langsung:

1. Prof. Dr. Ir. Raldi Artono Koestoer, DEA selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan, tantangan, dan waktu demi berjalannya skripsi ini
2. Prof. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng. selaku penguji dan pembimbing yang telah memberikan arahan dan waktu untuk saya berkonsultasi mengenai penyempurnaan pengolahan data skripsi ini
3. Dr. Ir. Engkos A. Kosasih, M.T., Dr.-Ing. Ridho Irwansyah, S.T., M.T. selaku penguji yang memberikan *feedback* dan pengetahuannya disaat sidang nantinya
4. Orang tua yang telah memberikan dukungan baik moral maupun material, serta doa terbaik untuk anaknya dalam menjalankan seluruh rangkaian perkuliahan
5. Teman HHMM Mesin UI 2014 yang tidak bisa saya sebutkan satupersatu yang telah memberikan *support* selama masa perkuliahan
6. Teman skripsi saya yaitu Yusuf, Ary, dan Alfredo yang telah membantu demi keberlangsungan skripsi saya
7. Ibnu Roihan, Juan Karnadi, Arbi, Jerrel yang telah membantu dalam pelaksanaan skripsi saya
8. Derizar, Luky, Hakim, dan Nabil yang telah menjadi teman seperjuangan dari awal perkuliahan sampai di penghujung masa perkuliahan ini
9. Seluruh teman-teman DTM FTUI angkatan 2014 yang telah bersama-sama menjalani perkuliahan, senior mesin yang telah membina saya, dan juga junior-junior saya yang tidak sengaja membina saya juga

Depok,

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nugraha Pancasaputra
NPM : 1406570562
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Metode Kalibrasi Sederhana dari Sensor Kelembaban DHT22 untuk Iklim Tropis dengan Sistem Akuisisi Data Berbasis *Arduino*.

beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada Tanggal : 5 Juni 2018
Yang menyatakan



(Nugraha Pancasaputra)

ABSTRAK

Nama : Nugraha Pancasaputra
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Metode Kalibrasi Sederhana dari Sensor Kelembaban DHT22 untuk Iklim Tropis dengan Sistem Akuisisi Data Berbasis *Arduino*

Dewasa ini sudah banyak sensor-sensor yang dapat langsung terhubung ke mikrokontroler untuk memperhitungkan nilai kelembaban secara langsung. Namun sensor-sensor yang ada tersebut dibuat dan dirancang untuk pengukuran pada kondisi lokasi saat sensor tersebut dibuat yang akan menyebabkan penyimpangan hasil pada lokasi lain. Oleh karena itu harus diketahui bagaimana karakteristik dari sensor DHT ini di wilayah tropis Indonesia serta perlu dilakukan kalibrasi pada kondisi lokal yang diinginkan. Pengkalibrasian ini dilakukan dengan membandingkan nilai kelembaban pada sensor dengan nilai kelembaban yang didapatkan dari pengukuran manual dengan metode ASTM E337-84 yang diambil pada saat bersamaan. Keunggulan dari sensor DHT22 ini adalah harganya yang *relative* murah dan barangnya yang mudah didapatkan melalui pembelian online. Dari kumpulan pengambilan data tersebut, dibuat suatu persamaan untuk merekayasa *output* dari sensor sehingga nilai yang terbaca pada DAQ sudah mengeluarkan hasil nilai kelembaban yang sudah mendekati nilai kelembaban dengan metode ASTM E337-84. Terlihat bahwa sensor DHT22 ini memiliki karakteristik yang berbeda dari spesifikasi yang ada pada data sheet, dan metode kalibrasi ini dapat memperbaiki kinerja sensor DHT22 ini yang nantinya sensor ini akan digunakan pada incubator grashoff milik Universitas Indonesia.

Kata kunci: Akuisisi Data ; Arduino ; ASTM ; DHT22 ; Kalibrasi ; Kelembaban Relatif

ABSTRACT

Name : Nugraha Pancasaputra
Study Program : Mechanical Engineering
Title : A Simple Calibration Methods of Relative Humidity Sensor DHT22 for Tropical Climates Based on Arduino Data Acquisition System

Nowadays, there are many sensors that can be directly connected to the microcontroller to calculate the value of relative humidity immediately. However, the existing sensors are made and designed to measure the conditions of location where the sensor is made, which will cause deviation of the results at other locations. Therefore, it should be known what the characteristics of DHT22 sensor is in tropical region as well as necessary calibration on the desired local conditions. This calibration is done by comparing the relative humidity value on the sensor with the relative humidity value obtained from the manual measurement by ASTM E337-84 method that taken at the same time. The advantages of DHT22 sensor are relatively cheap price and easily obtained through online purchases. Data collected would be made an equation to manipulate the output of the sensor so that the detected value on DAQ will generate humidity value that is close to the humidity value with ASTM E337-84 method. In conclusion, DHT22 sensor has different characteristics than the existing specifications in the data sheet, and this calibration method can improve the performance of this DHT22 sensor that this sensor will be used at testing of grashof portable incubator made by University of Indonesia.

Keywords: *Arduino ; ASTM ; Calibration ; Data Acquisition ; DHT22 ; Relative Humidity*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	2
1.5. Batasan Masalah	2
BAB 2	4
2.1. Temperatur.....	4
2.1.1. Termometer.....	4
2.1.2. Indonesia	7
2.1.3. Inkubator	7
2.2. Kelembaban	8
2.2.1. Nilai Kelembaban	8
2.2.2. Pengaruh suhu dan tekanan terhadap %RH	9
2.2.3. Mencari nilai <i>Relative Humidity</i>	10
2.2.4. Indonesia	11
2.2.5. Inkubator	11
2.3. Grafik Psikrometrik	11
2.3.1. Properti pada grafik psikrometrik	13
2.3.2. Proses pada Psikrometrik	16
2.4. DHT22	17
2.4.1. Spesifikasi	18
2.4.2. Komponen	18
2.4.3. Langkah Kerja.....	18
2.5. <i>Arduino</i>	19
2.5.1. Jenis macam	19
2.5.2. Spesifikasi	20
2.5.3. Prinsip kerja	20
2.5.4. Pemrograman	22
2.6. Pengukuran	24
2.6.1. Tata cara pengukuran	24
2.6.2. <i>Standard</i>	26

2.6.3. Karakteristik dari alat ukur	27
2.6.4. Kesalahan (<i>Error</i>)	31
2.7. Statistika	34
2.7.1. Sampel dan populasi	35
2.7.2. Probabilitas.....	35
2.7.3. Rata-rata	36
2.7.4. <i>P-Value</i>	37
2.7.5. <i>Standard Deviasi</i>	37
2.7.6. Distribusi <i>t</i>	38
2.7.7. Kalibrasi	39
2.8. Regresi	42
2.8.1. <i>Sum of square</i>	43
2.8.2. Koefisien Determinasi.....	44
2.8.3. <i>Standard Error</i>	44
2.8.4. <i>Standard Deviasi Persamaan</i>	46
2.8.5. <i>Interval</i>	46
2.9. Invers	48
BAB 3	50
3.1. Perancangan <i>Apparatus</i>	50
3.1.1. Termometer	50
3.1.2. Temperatur bola basah	50
3.1.3. Aliran udara.....	50
3.2. Pemilihan Komponen yang akan Digunakan	50
3.3. Perancangan rangkaian elektrik.....	53
3.4. Perakitan <i>apparatus</i>	54
3.5. Pembuatan koding awal.....	56
3.6. Pengambilan data.....	57
3.6.1. Lokasi.....	57
3.6.2. Persiapan pengambilan data.....	58
3.6.3. Pengambilan data	59
3.7. Perhitungan <i>Error</i>	60
3.8. Pembuatan persamaan matematika untuk kalibrasi.....	61
3.9. Pengambilan data setelah kalibrasi	64
3.10. Perhitungan <i>error</i> setelah kalibrasi dan membandingkan dengan hasil sebelum kalibrasi	64
BAB 4	65
4.1. Hasil pengambilan data sebelum kalibrasi	65
4.2. Perhitungan <i>Error</i>	68
4.3. Pengolahan untuk mencari persamaan RH DHT.....	70
4.4. Hasil pengambilan data setelah kalibrasi.....	75
4.5. Perhitungan dan Perbandingan <i>Error</i>	79
4.6. Perbandingan dengan Metode Kalibrasi Kelembaban Relatif Lain	82
BAB 5	85
5.1. Kesimpulan.....	85
5.2. Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bagian-Bagian pada Thermometer	4
Gambar 2.2. Termometer ASTM 91C	5
Gambar 2.3. Jenis immersi.....	5
Gambar 2.4. Tabel Psikrometrik	10
Gambar 2.5. Daerah pada Grafik Psikrometrik.....	12
Gambar 2.6. Dasar Grafik Psikrometrik	12
Gambar 2.7. Garis TDB pada Grafik Psikrometrik	13
Gambar 2.8. Garis TWB pada Grafik Psikrometrik.....	14
Gambar 2.9. Garis RH pada Grafik Psikrometrik.....	15
Gambar 2.10. Garis W (<i>Humidity ratio</i>) pada Grafik Psikrometrik	15
Gambar 2.11. Garis <i>Dew point</i> pada Grafik Psikrometrik.....	16
Gambar 2.12. Proses Dasar pada Psikrometrik.....	17
Gambar 2.13. Sensor DHT22.....	18
Gambar 2.14. Pengukur Kelembaban DHT22	19
Gambar 2.15. <i>Arduino</i> Uno.....	21
Gambar 2.16. Tampilan <i>Software Arduino</i>	22
Gambar 2.17. hubungan sensitivitas	27
Gambar 2.18. Akurasi vs Presisi.....	29
Gambar 2.19. Kurva Distribusi-t Pada $t_{0,05,10}$	39
Gambar 2.20. Kurva Distribusi-t Pada $t_{0,05/2,10}$	39
Gambar 2.21. <i>Zero Drift</i>	40
Gambar 2.22. <i>Sensitivity Drift</i>	41
Gambar 2.23. <i>Combined Zero and Sensitivity Drift</i>	42
Gambar 2.24. Regresi Linier.....	43
Gambar 2.25. Perbandingan <i>Standard Error</i>	45
Gambar 2.26. Contoh <i>Confidence interval</i> dan <i>Prediction interval</i>	47
Gambar 2.27. Invers pada Grafik.....	49
Gambar 3.1. Termometer ASTM 91C	51
Gambar 3.2. Kasa Sebagai Pelapis Termometer Bola Basah	52
Gambar 3.3. Empat Buah Sensor DHT22.....	52
Gambar 3.4. <i>Standing clamp</i> yang Digunakan untuk Memegang Thermometer..	53

Gambar 3.5. <i>Breadboard</i> 170 Lubang	53
Gambar 3.6. Gambar Rangkaian Elektrik	54
Gambar 3.7. Gambar Pengaturan <i>Apparatus</i>	55
Gambar 3.8. Peletakan Sensor DHT22 Sejajar dengan <i>Bulb Thermometer</i>	55
Gambar 3.9. Gambar Kodingan yang Digunakan Untuk Pengambilan Data	57
Gambar 3.10. Instalasi <i>Apparatus</i> Pengambilan Data	60
Gambar 3.11. Contoh Pengambilan Data	60
Gambar 3.12. Grafik Kalibrasi dari Persamaan	62
Gambar 3.13. Gambar Kodingan yang Digunakan Setelah Kalibrasi	63
Gambar 4.1. Grafik Hasil Data Kelembaban dari Sensor DHT22 Sebelum Kalibrasi	65
Gambar 4.2. Grafik Data Temperature dari Termometer ASTM	66
Gambar 4.3. Grafik Nilai RH dari Perhitungan Psikrometrik Chart.....	67
Gambar 4.4. Grafik Perbandingan RH DHT22 dan RH ASTM	68
Gambar 4.5. Grafik Nilai <i>Error</i> dari Sensor DHT22 Sebelum Kalibrasi	70
Gambar 4.6. Grafik RH DHT22 vs RH ASTM	71
Gambar 4.7. Grafik Pencarian Persamaan Regresi Linier	72
Gambar 4.8. Grafik <i>Interval</i> pada Regresi Linier	74
Gambar 4.9. Grafik Data Kelembaban dari Sensor DHT22 Setelah Kalibrasi.....	75
Gambar 4.10. Grafik Data Temperatur Setelah Pengkalibrasian.....	76
Gambar 4.11. Grafik Data Kelembaban dengan Metode ASTM.....	76
Gambar 4.12. Grafik Perbandingan RH Setelah Kalibrasi	77
Gambar 4.13. Grafik RH DHT22 vs RH ASTM Setelah Kalibrasi	77
Gambar 4.14. Regresi Sebelum Kalibrasi vs Setelah Kalibrasi	78
Gambar 4.15. Grafik Nilai <i>Error</i> Setelah Kalibrasi.....	79
Gambar 4.16. Grafik Perbandingan <i>Error</i> Sebelum dan Setelah Kalibrasi	80
Gambar 4.17. Grafik <i>Interval</i> Regresi Setelah Kalibrasi	81
Gambar 4.18. Skematik <i>Generator</i> RH	83
Gambar 4.19. Hasil Pengambilan Data dari RH <i>Generator</i>	83

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Tabel Perhitungan Nilai RH dari TWB dan TDB	67
Tabel 4.2. Perhitungan Nilai <i>Error</i>	69
Tabel 4.3. Tabel Hasil Perhitungan Koefisien m dan c serta Deviasinya	73
Tabel 4.4. Tabel Perbandingan <i>Interval</i> Sebelum dan Sesudah Kalibrasi	81



DAFTAR NOTASI

No.	Notasi	Penjelasan	Satuan
1	RH	<i>Relative Humidity</i>	%
2	K	<i>Correction Coeficiente</i> 0.00016 (untuk Celcius) / 0.00009 (untuk Fahrenheit)	-
3	N	Selisih nilai Terbaca di termometer dan tercelup di fluida yg diukur	°C
4	ST	Suhu ambien rata-rata	°C
5	T	Suhu	°C
6	D _v	<i>Absolute Humidity</i>	gr/m ³
7	V	<i>Volume</i>	m ³
8	M _w	Massa dari uap air	gr
9	n _w	jumlah mol uap air dalam udara	-
10	m _w	massa molekul air	gr
11	P	tekanan	Pa
12	R	8.31436	Pa x m ³ / K x mole
13	W	Rasio kelembaban	Kg/kg
14	M _a	Massa udara kering	gr
15	Q	Kelembaban spesifik	-
16	P _s	Tekanan udara jenuh	Pa
17	Δq _o	Perubahan sinyal Keluar	
18	Δq _i	Perubahan Sinyal Masuk	
19	$\bar{x}$	Rata-rata suatu sampel	
20	μ _x	Rata-rata suatu populasi	
21	x _i	nilai x yang ke i	
22	n	jumlah data	-
23	σ ²	varians	
24	σ	<i>standard deviasi</i>	

25	$\hat{y}$	nilai y prediksi	-
26	m	<i>slope</i>	-
27	b	<i>intercept</i>	-
28	SSE	<i>Sum of square Error</i>	
29	SST	<i>Sum of square Total Corrected</i>	
30	SSR	<i>Sum of square Regression</i>	-
31	SS _{xx}	<i>Sum of square x</i>	-
32	$\bar{y}$	nilai rata-rata y	-
33	R ²	koefisien determinasi	-
34	S _{y,x} /σ _{est}	<i>Standard Error</i>	-
35	S _m	deviasi dari <i>slope</i>	-
36	S _b	deviasi dari <i>intercept</i>	-
37	α	tingkat kepercayaan	-
38	f ⁻¹	<i>invers</i>	-

DAFTAR SINGKATAN

No.	Singkatan	Penjelasan
1	ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
2	DAQ	<i>Data Acquisition</i>
3	TWB	<i>Temperature wet bulb</i>
4	DP	<i>Dew point</i>
5	TDB	<i>Temperature dry bulb</i>
6	MRC	<i>Mechanical Research Center</i>
7	DTM	Departemen Teknik Mesin
8	FTUI	Fakultas Teknik Universitas Indonesia
9	SI	<i>International System of Units</i>
10	BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
11	SNI	<i>Standard Nasional Indonesia</i>
12	DHT	<i>Digital sensor of Humidity and Temperature</i>
13	IC	<i>Integrated Circuits</i>
14	I/O	<i>Input/Output</i>
15	USB	<i>Universal Serial Bus</i>
16	IDE	<i>Integrated Development Environment</i>
17	M	<i>Mega</i>
18	ISO	<i>International Organization for Standard</i>
19	HVAC	<i>Heating, Ventilation, and Air-Conditioning</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengambilan Sebelum Kalibrasi	90
Lampiran 2. Data Pengambilan Setelah Kalibrasi.....	100
Lampiran 3: <i>Datasheet</i> DHT22	105



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelembaban adalah salah satu parameter penting dalam inkubator karena kelembaban dan suhu udara dalam inkubator harus dapat diatur untuk menjaga kondisi bayi (Delanaud et al., 2017). Dalam eksperimen ini akan dibuat *data acquisition* berbasis *Arduino*. Sensor yang digunakan untuk mengukur kelembaban adalah DHT22. Dalam menentukan suatu kelembaban, diperlukan data temperatur udara kering (*dry bulb*) dan basah (*wet bulb*) serta tekanan (Gatley, 2013; Materials, 1996). DHT22 hanya menggunakan satu sensor temperatur di dalamnya yaitu jenis termistor untuk mengetahui temperatur udara kering. Pada umumnya, data temperatur udara basah merupakan sebuah program yang sudah dimasukkan ke dalam sirkuit DHT22 dengan melakukan pembacaan pada perubahan konduktivitas dari substrat penahan kelembaban (Nedelkovski). Kondisi lingkungan saat DHT22 dibuat utamanya suhu dan kelembaban, ada kalanya tidak sama dengan saat alat tersebut digunakan, sehingga muncul penyimpangan hasil pengukuran saat digunakan di lokasi yang lain. (Stull, 2011; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

Padahal sudah banyak penelitian yang menggunakan DHT22 sebagai alat untuk pengukuran nilai kelembaban (Basto, Pela, & Chacon, 2016; Gaddam, Al-Hrooby, & Esmael, 2014; Hojaiji, Kalantarian, Bui, Christine E. King, & Majid Sarrafzadeh, 2017; Jarvinen et al., 2017; Mesas-Carrascosa, Santano, Merono, Orden, & García-Ferrer, 2015). Hanya saja kurang banyak yang mengetahui dan mengabaikan *error* dari hasil pengukuran setiap sensor yang ada di pasaran. Sensor DHT22 cocok untuk mengukur di dalam *range* pengukuran inkubator bayi, yaitu RH sekitar 30-80%, dengan tingkat *error* 5%. (Bogdan, 2016; Liu)

Untuk membuat *data acquisition* khususnya parameter kelembaban dengan DHT22 yang baik, tentunya perlu ada kalibrator sebagai referensi pengukuran yang valid. Termometer air raksa ASTM 91C mempunyai ketelitian hingga 0.1 °C dan rentang pengukuran 20-50 °C dapat dipercaya sebagai kalibrator ("Precision Thermometers for Material Testing,"). Dengan adanya termometer ini, dapat diketahui temperatur udara

kering dan basah. Kombinasi *Arduino* dengan DHT22 dapat merekayasa keluaran hasil pengukuran, sehingga diharapkan dapat menunjukkan hasil pengukuran yang tepat dengan tingkat *error* yang kecil.(Evans, Hocken, & Estler, 1996)

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian ini menitikberatkan kepada analisa karakteristik dari sensor kelembaban DHT22 pada kondisi lingkungan di Indonesia. Selain itu diperlukan metode yang tepat dan sederhana untuk mengkalibrasi sensor kelembaban dengan prinsip temperatur udara kering dan basah. Mencari metode yang ekonomis dan valid sehingga dapat digunakan pada berbagai jenis sensor sesuai dengan keperluan pengujian inkubator grashoff, dan penggunaan sensor di wilayah Indonesia

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui karakteristik sensor kelembaban DHT22 pada kondisi tropis di Indonesia
2. Membuat metode kalibrasi sederhana sensor kelembaban dengan menggunakan prinsip temperatur udara kering dan basah yang dapat dipercaya sebagai acuannya sehingga dapat digunakan pada berbagai jenis sensor sesuai keperluan pengujian inkubator grashof dan penggunaan sensor di wilayah Indonesia

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan menjadi bahan pertimbangan untuk para peneliti lain untuk menggunakan sensor DHT22 dengan tingkat *error* yang sangat kecil agar sensor tersebut dapat di kalibrasi terlebih dahulu. Selain itu penelitian ini berfungsi untuk mengetahui nilai kelembaban yang sebenarnya dari inkubator grashof milik Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia

1.5. Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini, akan dilakukan proses kalibrasi sensor DHT22 dengan merekayasa nilai *output* pada *Arduino* UNO
2. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada kondisi temperatur dan kelembaban pada rentang kabin inkubator dan Indonesia

Universitas Indonesia

3. Penelitian ini dilakukan di Gedung MRC DTM FTUI lantai 6, Ruangan Departemen Teknik Mesin lantai 2, dan hotel di lembang
4. Variasi data yang diambil berdasarkan kondisi alami suhu dan kelembaban lingkungan
5. Persamaan kalibrasi dibuat hanya satu persamaan yang digunakan untuk semua sensor DHT22, tidak spesifik untuk sensor yang digunakan pada proses kalibrasi saja



BAB 2

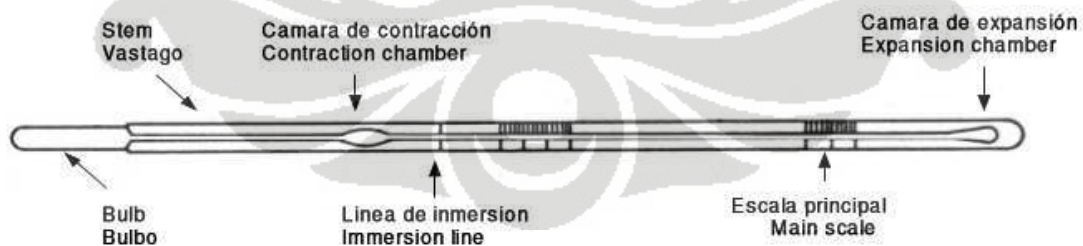
DASAR TEORI

2.1. Temperatur

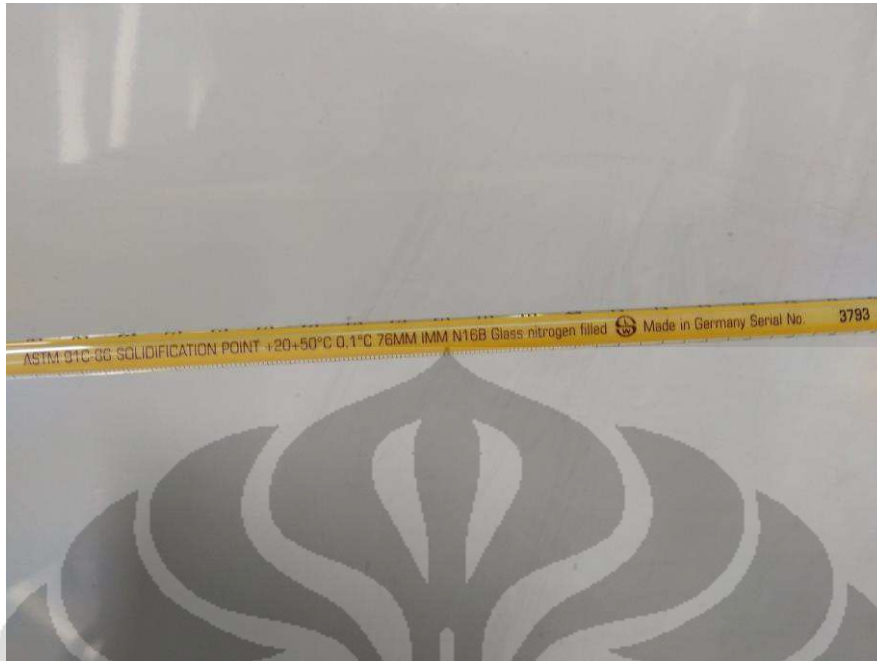
Seberapa panas atau dinginnya sesuatu diukur dengan nilai temperaturnya. Ketika suatu benda dikatakan panas, hal itu dikarenakan benda tersebut memiliki temperatur tinggi. Sedangkan ketika suatu benda dingin, maka benda tersebut memiliki temperatur yang rendah (Giancoli, 2005). Pada buku "*Fundamentals of Physics*" dijelaskan "*Temperature is one of the seven SI base quantities. Physicists measure temperature on the Kelvin scale, which is marked in units called kelvins*" yang berarti temperatur memiliki satuan SI yaitu Kelvin. (Halliday, Resnick, & Walker, 2011)

2.1.1. Termometer

Termometer disebut juga sebagai suatu alat yang digunakan untuk mengukur temperatur. Termometer memiliki banyak macam yang memiliki cara kerja tergantung kepada sifat dari suatu material kerjanya yang bergantung terhadap temperatur (Giancoli, 2005). Termometer merkuri memiliki sifat yang sangat baik yaitu tidak ada penuaan, tidak membasahi permukaan kaca dan linieritas ekspansi yang sangat baik pada rentang yang luas. Termometer *analog* yang sudah terkalibrasi memiliki sebuah standar. Setiap standarnya memiliki karakteristik yang berbeda-beda mulai dari temperatur tertinggi dan terendah, imersi dari termometer tersebut, serta akurasi dari termometer tersebut. Contohnya pada termometer ASTM 91C, memiliki temperatur ukur 20°C-50°C dengan imersi total dan akurasi 0.01°C ("Precision Thermometers for Material Testing,")



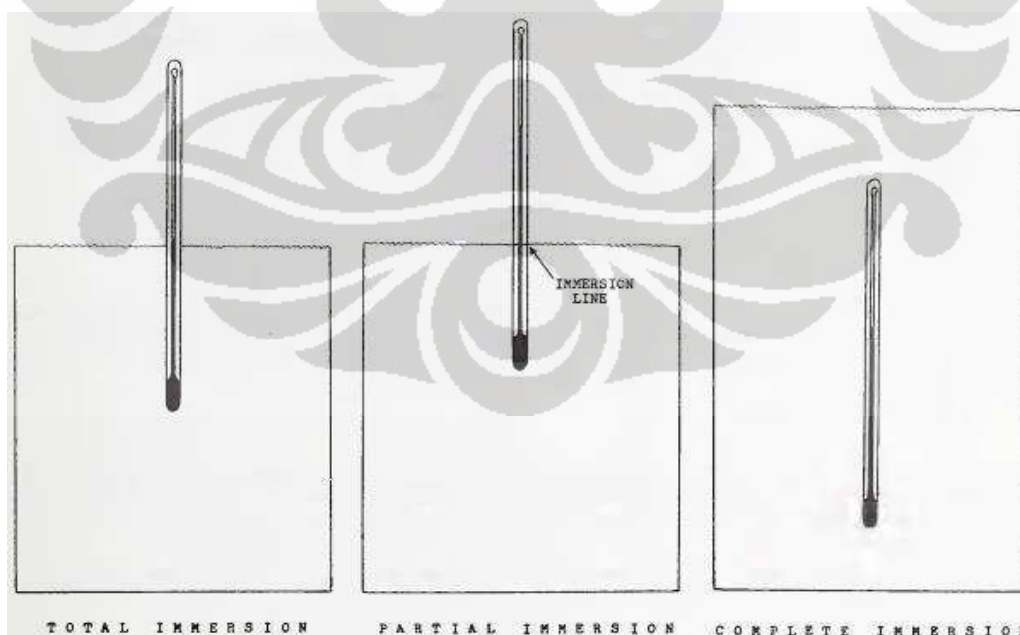
Gambar 2.1. Bagian-Bagian pada Thermometer
("General Information on Thermometers," 2010)



Gambar 2.2. Termometer ASTM 91C

2.1.1.1 Immersi

Immersi adalah cara pencelupan termometer sesuai standar pada termometer berstandar untuk mendapatkan nilai temperatur yang sebenarnya (Wise, 1988). Immersi terdapat tiga macam, yaitu imersi sebagian, imersi total dan imersi menyeluruh. Perbedaan dari ketiga macam ini adalah tingkat keakuratan dan kepresisian alat ukur tersebut ("General Information on Thermometers," 2010)



Gambar 2.3. Jenis immersi
(Wise, 1988)

2.1.1.1.1 Immersi sebagian

Immersi sebagian adalah cara pencelupan dengan mencelupkan hanya sebagian dari thermometer dengan kedalaman yang sudah ditentukan pada standar yang ada (Wise, 1988). Misalkan pada termometer ASTM 91C, tertulis bahwa immersinya adalah 76mm. yang artinya termometer ASTM 91C digunakan dengan cara mencelupkan termometer tersebut sedalam 76mm ("Precision Thermometers for Material Testing,")

2.1.1.1.2 Immersi total

Immersi total adalah cara pencelupan dengan mencelupkan media yang diukur sedalam suhu yang terukur (Wise, 1988). Misalkan pada ASTM 117C terukur suhu 26°C, maka termometer harus dicelupkan sampai tepat di angka yang terukur ("Precision Thermometers for Material Testing,").

2.1.1.1.3 Immersi menyeluruh

Immersi menyeluruh adalah cara pencelupkan dengan mencelupkan keseluruhan thermometer kedalam media yang ingin diukur sehingga menghasilkan hasil pengukuran yang paling akurat (Wise, 1988)

2.1.1.1.4 Koreksi immersi

Ketika menggunakan termometer dengan immersi total, terkadang *apparatus* pengukurannya tidak mendukung untuk melakukan pengukuran dengan immersi total. Maka dari itu nilai yang tertera pada termometer sebaiknya kita koreksi apabila pencelupan tidak pada kedalaman yang seharusnya. Koreksi dengan rumus sebagai berikut ("General Information on Thermometers," 2010):

$$\text{Stem Correction} = (K \times N) \times (T - ST) \quad (2.1)$$

$K = 0.00016$ (untuk Celcius) / 0.00009 (untuk Fahrenheit)

N = nilai derajat selisih antara nilai yang terbaca pada termometer dengan daerah yang tercelup

T = nilai yang terbaca pada termometer

ST = suhu udara ambient rata-rata

2.1.2. Indonesia

Pada jurnal yang dituliskan oleh Ariawan dkk. Indonesia memiliki rentang suhu 24.92°C sampai 36.98°C (Ariawan, Subagio, & Setiadi, 2015). Indonesia bagian timur, memiliki rentang suhu 24-38°C (Aritonang, Yuniati, Abinawanto, Imron, & Bowolaksono, 2016). Menurut laporan data ekstrem di Indonesia tahun 2013-2018 oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, suhu terendah di Indonesia dapat mencapai 2°C di Stasiun Meteorologi Supadio pada tanggal 24 april 2013, dan maksimum adalah 42.6°C di Stasiun Meteorologi Kasiguncu pada tanggal 20 Desember 2015. Namun temperatur rata-rata di Indonesia adalah sebesar 22.9-38.2°C (Badan Meteorologi, 2013-2018).

Pada jurnal yang dituliskan oleh Tri Harso Karyono dengan judul "*Report on thermal comfort and building energi studies in Jakarta, Indonesia*" menuliskan bahwa Jakarta memiliki temperatur yang beragam dengan temperatur terendah rata-rata sebesar 23°C dan temperatur tertinggi rata-rata sebesar 33°C (Karyono, 2000). Sedangkan menurut Maru, R. & Ahmad, S. Stee dalam jurnalnya yang berjudul "*Nocturnal Air Temperature Traverses across the City of Jakarta, Indonesia*", Jakarta memiliki temperatur terendah di malam hari rata-rata 26.9°C dan temperatur tertinggi di malam hari rata-rata sebesar 29°C (Maru & Ahmad, 2014). Cakupan temperature ini dapat dicakup pada termometer 91C ("Precision Thermometers for Material Testing,")

2.1.3. Inkubator

Bayi prematur untuk dapat bertahan, maka bayi tersebut harus selalu dimasukan kedalam inkubator untuk dihangatkan tubuhnya dengan temperatur suhu tubuh manusia sampai bayi tersebut memiliki berat normal dan dapat beradaptasi diluar ruangan (A. J. Lyon & Oxley, 2000) dengan suhu 36.8–37.3°C (A. Lyon, 2004). Karena bayi yang baru lahir khususnya bayi prematur sulit untuk mengatur suhu tubuhnya sehingga suhu tubuhnya akan rendah (Fraguelaa, Matlalcuatzib, & Ramosc, 2014). Menurut S. Delanaud et al pada jurnal yang berjudul "*Thermal management in closed incubators: New software for assessing the impact of humidity on the optimal incubator air temperature*" mengatakan bahwa suhu pada kabin inkubator memiliki suhu terendah sebesar 32.7±0.9°C dan suhu tertinggi 34.4±1.1°C (Delanaud et al., 2017), sedangkan menurut (SNI) No. 16-4221:1996 adalah sebesar 30-37 °C (Nasional, 2014-2015)

2.2. Kelembaban

Kelembaban atau yang sering disebut dengan *humidity* adalah konsentrasi dari uap air yang terdapat pada udara. (Morton & Corporation, 2015; *The Rotronic Humidity Handbook* 2005) Nilai dari kelembaban itu sendiri biasanya dilihat dari *Absolute Humidity*, *Mixing Ratio/humidity ratio*, *Specific Humidity*, *Relative Humidity* (*Humidity / Moisture Handbook*, 1999; Morton & Corporation, 2015; *The Rotronic Humidity Handbook* 2005)

2.2.1. Nilai Kelembaban

2.2.1.1 *Absolute Humidity*

Absolute Humidity adalah konsentrasi dari percampuran uap air dengan udara kering yang di definisikan dengan rasio massa uap air (M_w) dengan volum (V) (*The Rotronic Humidity Handbook* 2005)

$$D_v = \frac{M_w}{V} \text{ (gr/m}^3\text{)} \quad (2.2)$$

$$M_w = n_w \times m_w \text{ (gr)} \quad (2.3)$$

$$D_v = \frac{M_w}{V} = \frac{n_w \times m_w}{V} = \frac{m_w \times P}{R \times T} \text{ (gr/m}^3\text{)} \quad (2.4)$$

M_w = mass of water vapor (gr)

V = Volume (m^3)

n_w = number of moles of water vapor present in the volume V

m_w = molecular mass of water (gr)

p = partial pressure of water vapor [Pa]

R = $8.31436 \text{ Pa} \times \text{m}^3 / \text{K} \times \text{mole}$

T = temperature of the gas mixture in K

2.2.1.2 *Mixing/Humidity ratio*

Humidity ratio atau yang biasa disebut *mixing ratio* adalah rasio antara massa uap air dengan masa udara kering (*Humidity / Moisture Handbook*, 1999; *The Rotronic Humidity Handbook* 2005). *Humidity ratio* dapat dihitung dengan rumus (*The Rotronic Humidity Handbook* 2005)

$$W = \frac{M_w}{M_a} \quad (2.5)$$

W = humidity ratio

M_w = mass of water vapor

M_a = mass of dry air

2.2.1.3 **Specific Humidity**

Specific humidity merupakan rasio dari massa uap air terhadap massa keseluruhan campuran udara tersebut (*Humidity / Moisture Handbook*, 1999; *The Rotronic Humidity Handbook* 2005). *Specific humidity* didapatkan dengan rumus (*The Rotronic Humidity Handbook* 2005)

$$Q = \frac{M_w}{M_w + M_a} \quad (2.6)$$

Q = *Specific Humidity*

M_w = *Mass of water Vapor*

M_a = *Mass of dry air*

2.2.1.4 **Relative Humidity**

Relative humidity merupakan nilai yang paling sering digunakan untuk mengetahui kondisi kelembaban udara. RH merupakan jumlah dari uap air dalam bentuk persentase dari batas atas dari uap air yang mampu ditampung oleh suatu udara (*Humidity / Moisture Handbook*, 1999). RH menunjukkan nilai kelembaban yang terdapat pada udara dengan suhu tertentu dibandingkan dengan kapasitas maksimum yang dapat ditampung oleh udara pada saat suhu tersebut (Morton & Corporation, 2015). RH merupakan rasio dari dua buah tekanan (*The Rotronic Humidity Handbook* 2005) nilai RH dapat dicari dengan menggunakan rumus (*Humidity / Moisture Handbook*, 1999; *The Rotronic Humidity Handbook* 2005)

$$RH(\%) = \frac{P}{P_s} \times 100 \quad (2.7)$$

RH = *Relative Humidity (%)*

P = tekanan dari udara dengan tingkat uap air pada temperatur tertentu

P_s = tekanan saat udara saturasi pada suhu yang sama

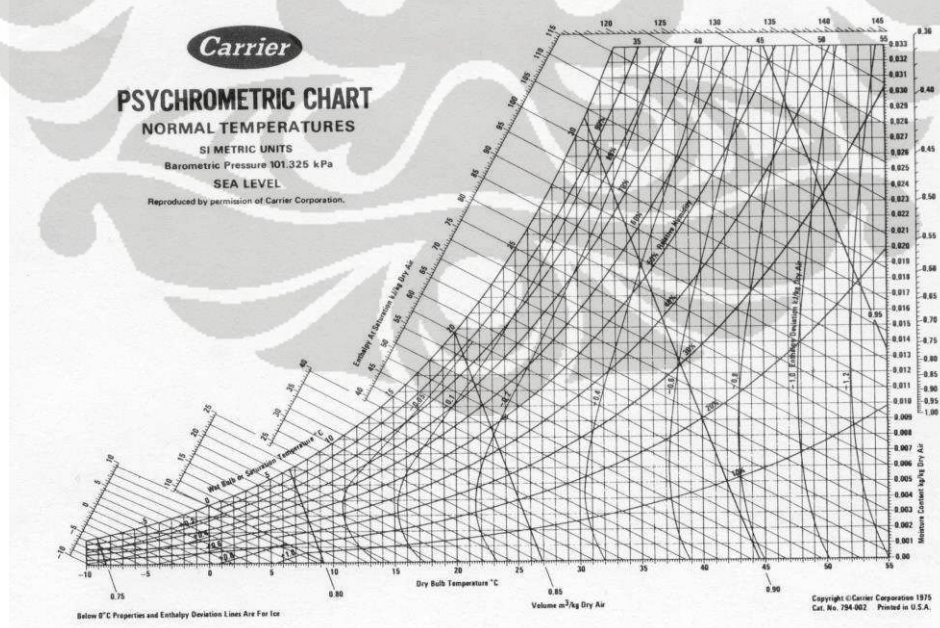
2.2.2. **Pengaruh suhu dan tekanan terhadap %RH**

%RH bergantung langsung terhadap tekanan pada kondisi ruangan terbuka, dengan tingkat uap air dan suhu yang konstan. Sedangkan %RH akan berkurang pesat

ketika terjadi kenaikan temperatur pada kondisi ruangan terbuka, dengan tingkat uap air dan tekanan yang konstan. Namun ketika pada ruangan tertutup dengan volume yang tetap, tekanan dan tingkat uap air konstan, perubahan %RH terhadap temperature tidak terlalu sensitive seperti pada ruang terbuka(*The Rotronic Humidity Handbook 2005*)

2.2.3. Mencari nilai *Relative Humidity*

Berdasarkan ASTM *standard E 337-84*, terdapat ketentuan dan langkah-langkah yang harus dilakukan untuk mendapatkan nilai *Relative Humidity*. Metode yang digunakan adalah dengan memanfaatkan dua buah termometer (temperatur bola basah, dan temperatur bola kering), serta tekanan ambien. Temperatur bola kering merupakan temperatur udara yang terindikasi tidak dipengaruhi kondisi radiasi atau evaporasi. Sedangkan temperatur bola basah merupakan temperatur udara ketika udara tersebut dalam jenuh atau menampung uap air batas atas yang bisa ditampung pada kondisi lingkungan tersebut(Gatley, 2013; Morton & Corporation, 2015). Temperatur bola basah merupakan temperatur udara yang diasumsikan ketika air membasahi secara bertahap dengan jumlah tak terhingga dan diuapkan ke udara pada tekanan konstan sampai tercapai kejenuhan(*The Rotronic Humidity Handbook 2005*). Dari nilai yang didapatkan dari temperatur bola basah, temperatur bola kering, serta tekanan ambien, didapatkan nilai RH dengan melihat ke diagram psikrometrik(Materials, 1996).



Gambar 2.4. Tabel Psikrometrik
(Corporation, 1975)

2.2.4. Indonesia

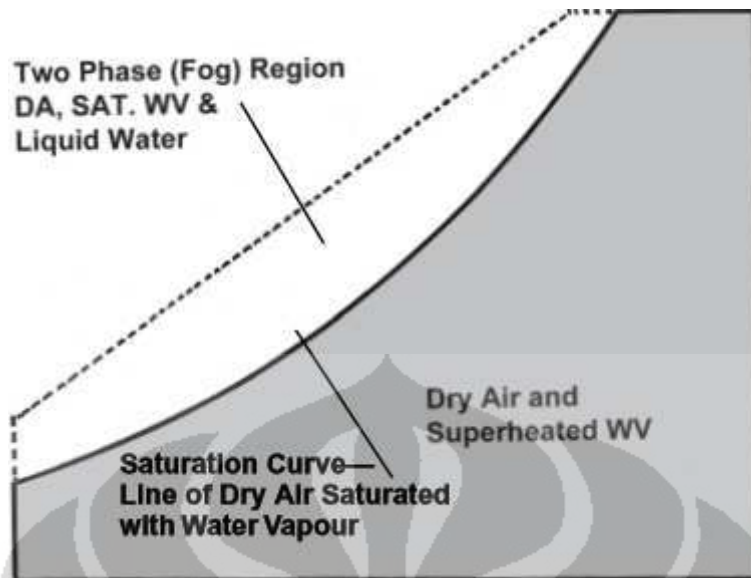
Indonesia memiliki nilai kelembaban dengan rentang 50.31 sampai 83.69%(Ariawan et al., 2015). Indonesia bagian timur memiliki nilai kelembaban udara sebesar 50-90%(Aritonang et al., 2016). Menurut data cuaca ekstrem di Indonesia oleh BMKG tahun 2013-2018, Indonesia memiliki nilai kelembaban rata-rata berkisar antara 25-86%(Badan Meteorologi, 2013-2018). Menurut data dari data.jakarta.go.id pada dataset kelembaban udara Jakarta tahun 2014, menunjukkan bahwa nilai kelembaban rata2 jakarta pada tahun 2014 adalah sebesar 73.25% dengan rata2 kelembaban maksimum sebesar 94.5%, dan rata-rata kelembaban minimum sebesar 48.16%(*Data Kelembaban Udara Di DKI Jakarta Menurut Bulan Tahun 2014*, 2016).

2.2.5. Inkubator

Suhu udara dan kelembaban, idealnya harus dapat diatur untuk kondisi bayi prematur. Untuk menghindari dehidrasi, kelembaban dari udara di dalam inkubator harus dinaikan. menurut S. Delanaud et al dalam Hey & Katz menerangkan bahwa RH dari lingkungan bayi prematur yang memiliki berat 1000g-2000g harus diatur dalam *range* 25%-75% dengan menambahkan atau menurunkan temperatur udara(Delanaud et al., 2017) sedangkan menurut Lyon, RH dari inkubator diatur sebesar 80% untuk 7 hari kehidupan pertama, lalu berkurang sedikit demi sedikit(A. Lyon, 2004). Lalu menurut Jennifer Ellis dalam Kenner et al, menerangkan bahwa ketika RH mencapai 50%, temperature inkubator harus diturunkan(Ellis, 2005). Dan menurut S. Delanaud et al, RH dari inkubator diatur 75% untuk 3 hari pertama, 73% untuk hari ke 4 sampai ke 6, 71% untuk hari ke 7-9 dan 67% untuk setelahnya(Delanaud et al., 2016)

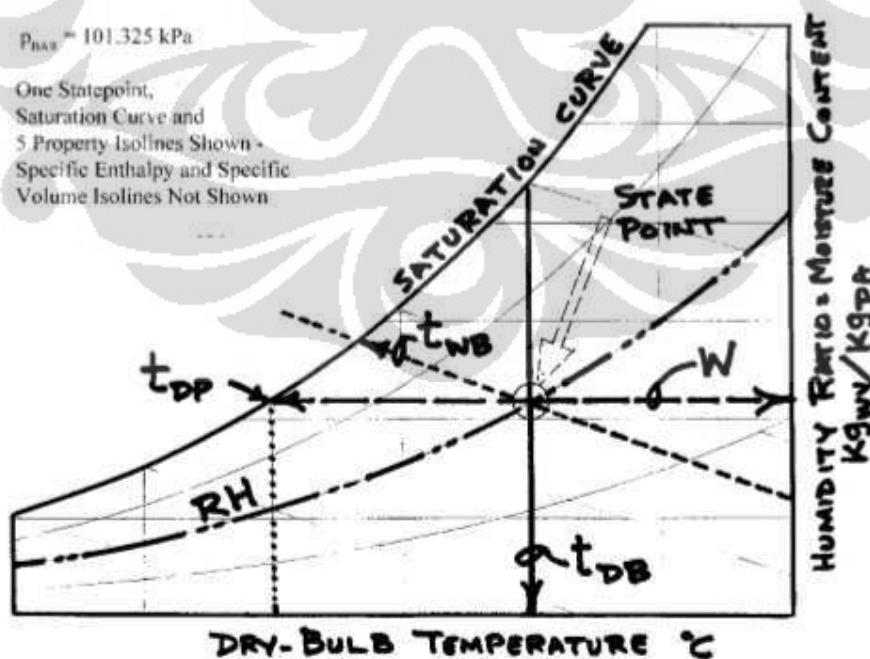
2.3. Grafik Psikrometrik

Grafik Psikrometrik merupakan grafik yang menggambarkan tabel thermodinamika yang biasa digunakan insinyur HVAC untuk merencanakan solusi dalam berbagai proses pengkondisian udara yang melibatkan uap air dan perubahan suhu(Morton & Corporation, 2015). Grafik psikrometrik merupakan alat yang digunakan untuk menentukan properti psikrometrik dan memvisualisasikan perubahan pada sifat udara lembab (Gatley, 2013).



Gambar 2.5. Daerah pada Grafik Psikrometrik
(Gatley, 2013)

Pada grafik psikrometrik, kepentingannya terdapat pada uap air. Dari gambar diatas terlihat bahwa daerah yang digunakan pada grafik psikrometrik adalah daerah dibawah garis saturasi atau garis pada saat udara jenuh menampung uap air atau padasaat kondisi batas atas uap air yang dapat ditampung. Jika konsentrasi uap air ditambah maka fase dari udara tersebut berubah menjadi campuran antara udara uap air dengan air. Karena kondisi udara sudah dalam keadaan jenuh dan tidak dapat menampung uap air lagi.



Gambar 2.6. Dasar Grafik Psikrometrik

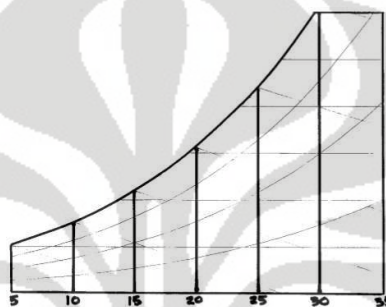
Universitas Indonesia

(Gatley, 2013)

Pada grafik psikrometrik berbasiskan pada tekanan spesifik dari permukaan laut. Grafik yang biasa digunakan adalah pada tekanan 1bar atau 101.325 kPa. Dari gambar diatas diperlihatkan kerangka dari grafik psikrometrik. Garis garis yang terdapat pada grafik dasar psikrometrik ini adalah TDB, TWB, RH, W (*Humidity ratio*), dan kurva saturasi(Gatley, 2013).

2.3.1. Properti pada grafik psikrometrik

- TDB



Gambar 2.7. Garis TDB pada Grafik Psikrometrik
(Gatley, 2013)

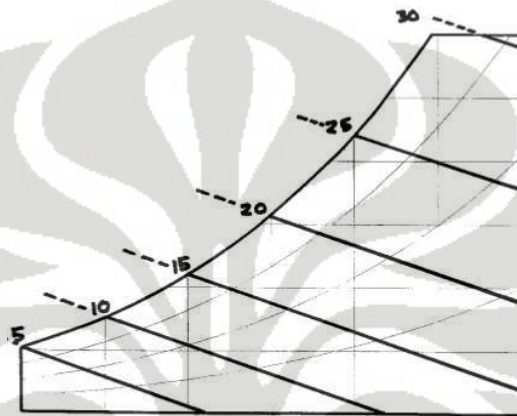
Temperature dry bulb merupakan temperatur udara yang terindikasi tidak dipengaruhi kondisi radiasi atau evaporasi. Dan ketika aliran udara menyentuh sensor temperatur, perubahan energi yang terjadi tidak mempengaruhi pembacaan(Gatley, 2013; Morton & Corporation, 2015). Untuk skala selaras untuk *temperature dry bulb*, ditunjukan pada garis horizontal perpotongan pada saat nilai *humidity ratio* nol

- TWB

Sedangkan *temperature wet bulb* merupakan temperatur udara ketika udara tersebut jenuh atau menampung uap air batas atas yang bisa ditampung pada kondisi lingkungan tersebut(Gatley, 2013; Morton & Corporation, 2015). *Temperature wet bulb* merupakan temperatur udara yang diasumsikan ketika air membasahi secara bertahap dengan jumlah tak terhingga dan diuapkan ke udara pada tekanan konstan sampai tercapai kejenuhan(*The Rotronic Humidity Handbook* 2005). *Temperature wet bulb* untuk campuran udara kering dengan uap air merupakan temperatur yang diukur dengan termometer yang dilapisi kain kasa

bersih dan lembut yang dibasahi terus dengan air dan diberikan aliran udara dan harus dilindungi dari radiasi matahari.

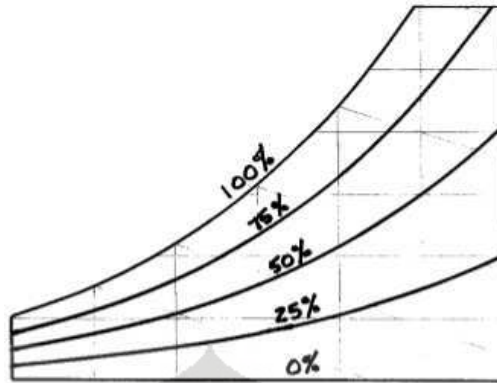
Pada grafik psikrometrik, garis TWB berada segaris dan paralel dengan garis *specific enthalpy* yang menandakan kedua garis ini memiliki hubungan yang dekat. Namun untuk mengurangi garis yang akan membuat bingung, maka kebanyakan grafik psikrometrik tidak menunjukkan garis *specific enthalpy* (Gatley, 2013).



Gambar 2.8. Garis TWB pada Grafik Psikrometrik
(Gatley, 2013)

- RH

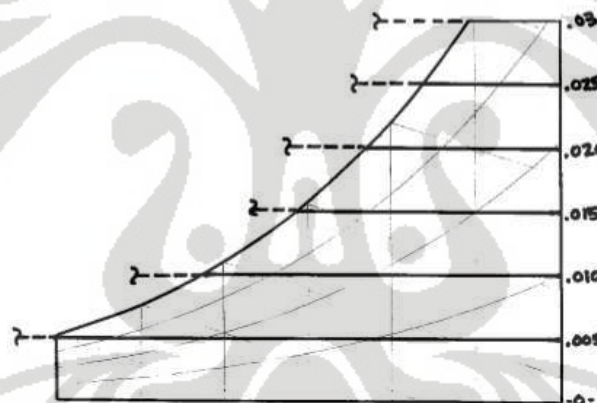
Pada grafik psikrometrik, kurva pada bagian atas kiri melengkung merupakan garis saturasi uap air yang menandakan nilai uap air jenuh atau maksimum yang dapat ditampung. Kurva tersebut merupakan garis RH 100%, sedangkan pada garis horizontal 0.000 *humidity ratio* merupakan garis RH 0% dikarenakan nilai RH adalah persentase uap air yang ditampung pada kondisi saat itu dengan batas atas uap air yang dapat ditampung pada kondisi tersebut. Nilai garis RH biasanya ditampilkan pada *interval* tiap 10% RH



Gambar 2.9. Garis RH pada Grafik Psikrometrik
(Gatley, 2013)

- *Humidity ratio (W)*

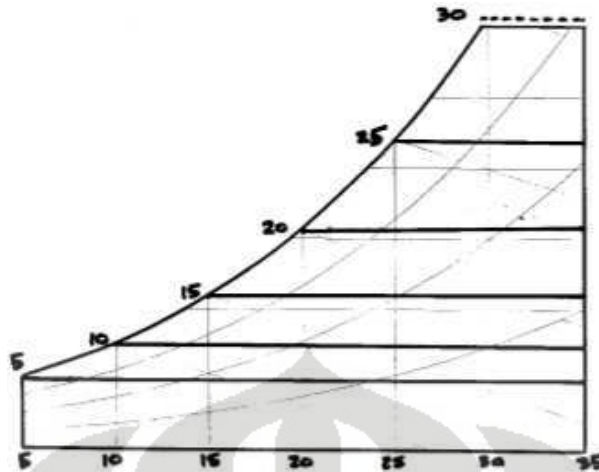
Humidity ratio merupakan rasio dari massa uap air dengan massa udara kering yang ada pada saat itu. *Humidity ratio* merupakan salah satu dari dua buah koordinat pada grafik psikrometrik. Garis-garis *humidity ratio* adalah garis horizontal



Gambar 2.10. Garis W (*Humidity ratio*) pada Grafik Psikrometrik
(Gatley, 2013)

- *Dew point*

Merupakan temperatur pada saat uap air terkondensasi menjadi air pada saat tekanan konstan. Temperatur tersebut dibaca pada saat pertamakalinya terjadi kondensasi pada termometer yang mengukur suhu tersebut. Pada grafik psikrometrik, *dew point* merupakan garis horizontal yang melintang dari kurva saturasi



Gambar 2.11. Garis *Dew point* pada Grafik Psikrometrik
(Gatley, 2013)

2.3.2. Proses pada Psikrometrik

Proses pada psikrometrik terjadi ketika udara mengalami transformasi ke kondisi final. Transformasi tersebut dapat terjadi dari perpindahan kalor atau kerja maupun massa. Terdapat empat buah proses dasar pada psikrometrik. Namun dari keempat buah proses ini dapat terjadi dua buah proses yang bersamaan (Gatley, 2013).

- *Sensible Heating Only*

Merupakan proses penambahan kalor tanpa terjadinya perubahan pada massa uap air yang ada. Perpindahan kalor mungkin menggunakan lilitan panas atau *heat exchanger* dari udara ke udara. Pada grafik psikrometrik, proses ini merupakan pergeseran horinzontal ke arah kanan dengan *humidity ratio* konstan. Maka kondisi yang terjadi adalah kenaikan TDB, kenaikan pada TWB dan penurunan pada nilai RH

- *Sensible Cooling Only*

Merupakan proses pengambilan kalor tanpa terjadinya perubahan pada massa uap air yang ada. Perpindahan kalor mungkin menggunakan lilitan dingin atau *heat exchanger* dari udara ke udara. Pada grafik psikrometrik, proses ini merupakan pergeseran horinzontal ke arah kiri dengan *humidity ratio* konstan. Maka kondisi yang terjadi adalah penurunan TDB, penurunan pada TWB dan kenaikan pada nilai RH

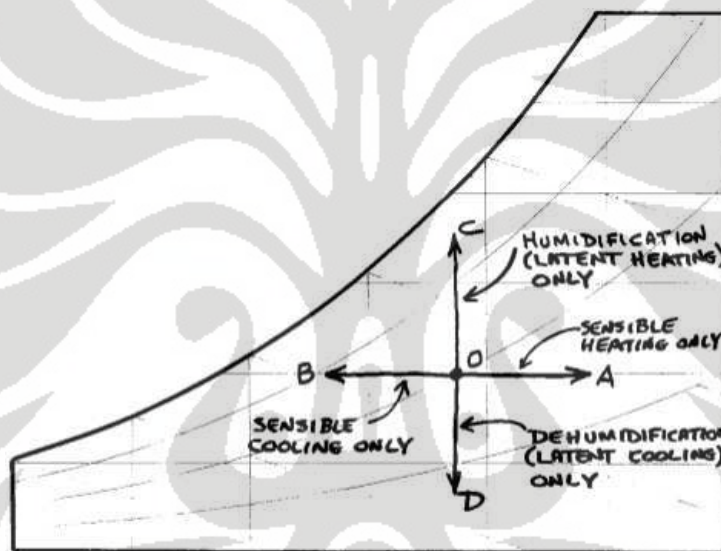
- *Humidification Only*

Merupakan proses pemanasan laten dengan penambahan pada uap air tanpa merubah temperatur. Penambahan uap air mungkin menggunakan *humidifier*. Pada kenyataannya, uap akan menambahkan kalor sedikit. Pada grafik psikrometrik, proses

ini merupakan pergeseran vertikal keatas pada garis TDB konstan. Maka kondisi yang akan terjadi adalah kenaikan *humidity ratio*, kenaikan pada TWB, dan kenaikan RH

- *Dehumidification Only*

Merupakan proses pendinginan laten dengan pengurangan pada uap air tanpa merubah temperatur. Penambahan uap air mungkin menggunakan *humidifier*. Beberapa berpendapat bahwa, proses dehumidifikasi akan menimbulkan penurunan suhu sedikit. Pada grafik psikrometrik, proses ini merupakan pergeseran vertikal kebawah pada garis TDB konstan. Maka kondisi yang akan terjadi adalah penurunan *humidity ratio*, penurunan pada TWB, dan penurunan RH



Gambar 2.12. Proses Dasar pada Psikrometrik
(Gatley, 2013)

2.4. DHT22

DHT22 merupakan sensor kelembaban dan suhu yang telah dikalibrasi secara *digital* untuk sinyal kelembaban dan suhu yang mencakup sensor kapasitif, komponen basah dan pengukur suhu dengan tingkat kepresisian yang tinggi. DHT22 dihubungkan dengan mikrokontroler 8bit yang berkinerja tinggi(Kunjumon, Pinto, & Saldanha, 2016)



Gambar 2.13. Sensor DHT22
(Liu)

2.4.1. Spesifikasi

DHT22 membutuhkan masukan energi berupa arus searah sebesar 3.3-5.5V. keluaran sinyalnya berupa *digital signal via single bus* dengan element sensor berupa *polymer capacitor*. DHT22 beroperasi pada kondisi suhu -40-80°C dan kelembaban 0-100%. Tingkat akurasi pada DHT22 adalah sebesar $\pm 2\%RH$ (maksimal 5%) dan $\pm 0.5^\circ C$. memiliki ketelitian 0.1%RH dan 0.1°C. DHT22 merupakan sensor yang terbilang kecil. DHT22 memiliki ukuran 25x15x7mm (Liu)

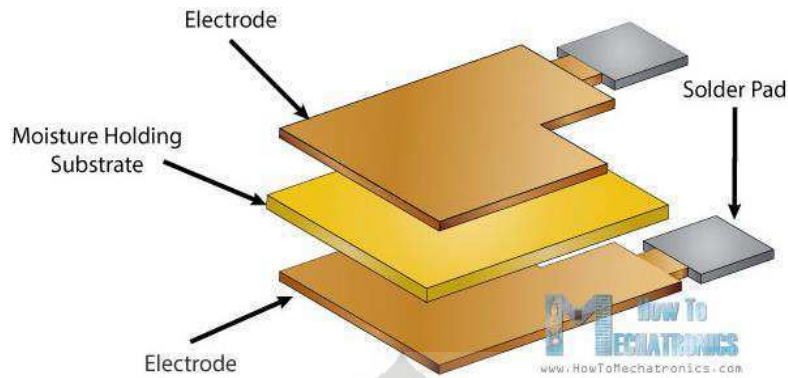
2.4.2. Komponen

Terdiri dari dua buah komponen utama yaitu *thermistor* untuk membaca temperatur dan sensor kelembaban yang akan mengukur kelembaban yang terdapat pada saat itu. (Nedelkovski)

2.4.3. Langkah Kerja

DHT 22 memiliki 4 buah *pin* yang akan terhubung ke mikrokontroler. *Pin 1* adalah *pin* untuk *power voltase* (3.3-5.5V). *pin* ini berfungsi untuk mensuplay sensor DHT tegangan. Lalu *pin 2* adalah *pin Serial Data* yang berfungsi untuk menyalurkan *outputan* data yang didapatkan ke mikrokontroler. *Pin 3* adalah *pin NC* atau *pin* kosong. Lalu *pin* ke 4 adalah *pin ground* ("Temperature and Humidity module AM2303 Product Manual,")

DHT 22 mengukur temperatur udara kering dengan menggunakan *thermistor*. Untuk mengukur kelembaban, sensor DHT22 menggunakan dua buah elektroda yang diantaranya terdapat substrat penyimpan kelembaban. Ketika nilai kelembaban berubah, maka konduktivitas dari substrat akan berubah atau resistansi antar dua buah elektroda ini berubah. Perubahan ini kemudian diolah oleh IC yang dapat dibaca oleh mikrokontroler (Nedelkovski).



Gambar 2.14. Pengukur Kelembaban DHT22
(Nedelkovski)

2.5. Arduino

Pada buku *Getting Started with Arduino* menerangkan “*Arduino is an open source physical computing platform based on a simple input/output (I/O) board and a development environment that implements the Processing language*” yang menjelaskan bahwa *Arduino* merupakan sebuah *platform* komputasi yang terbuka berbasis masukan atau keluaran *board simple* dan pengembangan lingkungan yang memanfaatkan Bahasa proses.(Banzi, 2009)

2.5.1. Jenis macam

Arduino memiliki berbagai jenis produk mulai dari *board*, *modules*, *shields*, *Kits*, *Accessories*. Produk *Arduino* dibagi-bagi lagi menjadi beberapa kelas berdasarkan tingkat fungsionalnya. ("Arduino Products,") Pembagian kelas *Arduino* adalah sebagai berikut

- Entry Level

Entry level adalah kelas produk *Arduino* yang diperuntukan untuk pengguna yang baru memulai untuk menggunakan *Arduino*. Produk ini mudah digunakan sehingga sangat cocok untuk belajar dan menuangkan ide dengan elektronik dan koding. Produk pada *entry level* mencakup : *Boards* (*Arduino UNO*, *Leonardo*, *101*, *Esplora*), *Modules* (*Micro*, *Nano*, *Mini*), *Shields* (*MKR2UNO Adapter*), *StarterKit*, *LCD Screen*

- Enhanced Features

Enhanced Features adalah kelas untuk *project* yang lebih *complex*. Berisi produk yang memiliki fungsi yang lebih canggih atau memiliki performa yang lebih cepat. Produk pada *Enhanced Features* mencakup *Boards* (*Mega*, *Zero*, *Due*, *Mega ADK*, *MO*, *MO PRO*), *Modules* (*MKR ZERO*), *Shields* (*Motor Shields*, *USB Host Shields*,

Proto, MKR Proto, 4 Relays Shield, Mega Proto, MKR Relay Proto), Arduino ISP, USB2 Serial Micro, USB2 Serial Converter

- *Internet of Things*

Produk *Arduino* yang berhubungan dengan IoT

- *Education*

Produk yang memfasilitasi *educator* untuk membuat pengajaran yang lebih *innovative*.

- *Wearable*

Sebagai tambahan untuk *project*

- *3D Printing*

Alat *3D printing* produksi *Arduino*

2.5.2. Spesifikasi

Perbedaan *Arduino* dibandingkan dengan platform lain adalah *Arduino* dapat digunakan diberbagai macam *operating system* seperti windows, linux dan lainnya. *Arduino* mudah digunakan untuk dikembangkan. Diprogram dengan kabel USB, yang merupakan *open source hardware* dan *software*. *Arduino* terbilang peralatan yang murah dan banyak forum yang dapat membantu (Banzi, 2009).

2.5.3. Prinsip kerja

Arduino board diklasifikasikan menjadi dua buah part yaitu *hardware* dan *software* (Badamasi, 2014). *Hardware Arduino* UNO memiliki komponen sebagai berikut:

- *USB plug*

Merupakan komponen utama dari *Arduino*. *Port* USB ini berfungsi untuk mengunggah program ke *microcontroller* dan juga memberikan *power* 5V untuk mengaktifkan *Arduino*

- *External Power Supply*

Digunakan untuk memberikan *power* ke *board* untuk tegangan lebih tinggi (9V atau 12V) jika *USB Plug* tidak dapat mencakup *power* yang dibutuhkan

- *Reset Button*

Ketika telah mengunggah perintah lain, dan tombol ini ditekan. Maka *Arduino* akan mengatur ulang dan melakukan perintahnya

- *Microcontroller*

Microcontroller menerima dan memberikan informasi atau memberika perintah

- *Analog pin*

Merupakan *pin* untuk *inputan analog* yang terdiri dari *pin* A0-A5

- *Digital I/O pin*

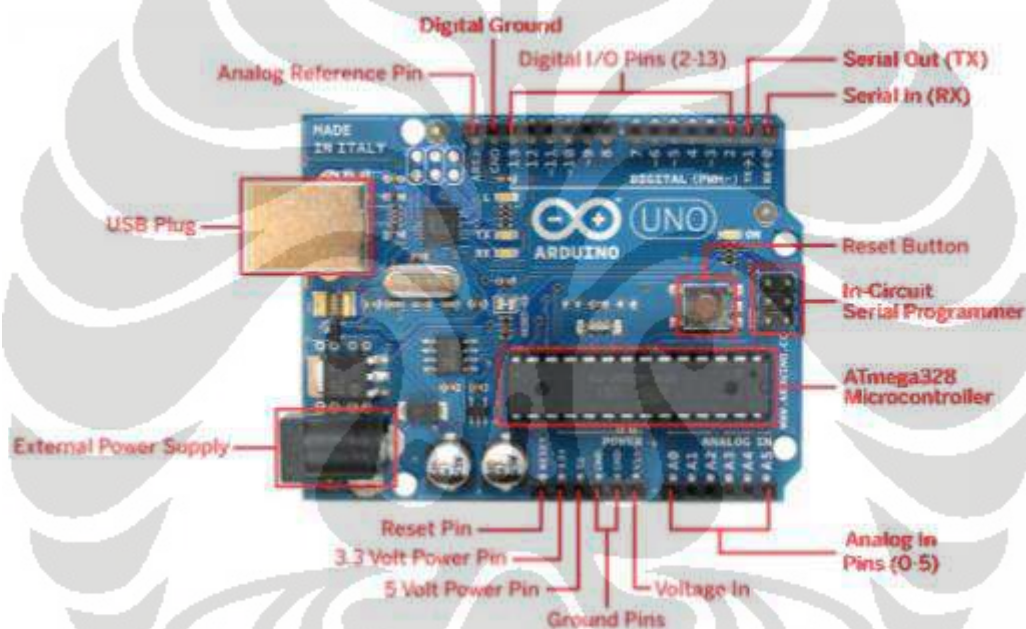
Merupakan *pin* untuk *inputan digital* yang terdiri dari *pin* 2-13

- *In-Circuit Programmer*

Merupakan sumber lain untuk memberikan *Arduino* perintah. Perintah dapat dikirimkan dengan transmitter *output*, dan receiver *input*

- *Digital and analog ground pin*

- *Power pin* (3.3V, 5V)



Gambar 2.15. *Arduino Uno*
(Badamasi, 2014)

Beberapa instruksi yang memberikan informasi ke *hardware* untuk melakukan sesuatu disebut sebagai *software* (Badamasi, 2014). Anda dapat menuliskan gambaran untuk *Arduino* dengan Bahasa permodelan yang mudah, setelah memproses bahasa tersebut dengan program yang special yaitu IDE (*Integrated Development Environment*). Setelah menekan tombol unggah, Bahasa tersebut akan dipahami dan dijalankan oleh mikrokontroler. Siklus pemrograman dasar dari *Arduino* adalah mencolok *port* USB ke computer, memberikan kehidupan dengan menuliskan gambaran, lalu mengunggah tulisan tersebut melalui kabel USB yang terkoneksi, dan *Arduino* akan mengeksekusi

gambaran tersebut (Banzi, 2009). *Arduino IDE* dibagi menjadi 3 bagian yaitu *command area* atau tempat menu item seperti *file*, *edit*, *sketch*, *tool*, *help* dan ikon verifikasi dan *upload*. Lalu terdapat *text area* tempat penulisan gambaran dengan Bahasa pemrograman C. Dan yang terakhir terdapat *message windows area* yaitu tempat IDE memberikan pesan atau *feedback* pada saat memverifikasi kode yang telah ditulis (Badamasi, 2014)



Gambar 2.16. Tampilan Software Arduino
(Badamasi, 2014)

Sebuah sirkuit elektronik yang dapat merasakan lingkungan dengan sensor dan memproses informasi yang didapatkan dari sensor tersebut yang di implementasikan pada *software*. *Device* ini dapat berinteraksi dengan *actuator* atau komponen yang dapat merubah informasi sinyal menjadi gerakan fisik. perubahan dari *analog* ke *digital* dan juga sebaliknya oleh mikrokontroler disebut juga *interactive device* (Banzi, 2009)

2.5.4. Pemrograman

Computer mengikuti langkah demi langkah dari program *computer*. *Computer* tidak lebih dan tidak kurang akan mengikuti apa yang diperintahkan. Terdapat ribuan Bahasa yang digunakan untuk pemrograman seperti Bahasa C, C++, JAVA, Basic, Pascal dan masih banyak lagi. Bahasa C yang digunakan untuk *Arduino*. Untuk menginterpretasikan instruksi, harus dimasukan syntax yang spesifik. Bahasa yang telah

ditulis akan di konversi dengan mesin pembaca yang terdapat pada prosesor dan prosesor akan mengeksekusi *code* baris demi baris(Durfee, 2011).

Bahasa pemrograman memiliki empat buah kategori. Yang pertama adalah perintah operasi, sebuah ekspresi, aritmatika, perubahan *input output*, dan operasi lainnya akan di evaluasi. Yang kedua adalah perintah lompatan, label yang di tandai pada bagian tertentu akan langsung dilakukan setelah diberikan perintah lompatan. Satu-satunya perintah yang momotong atau tidak mengikuti alur garis demi garis adalah perintah ini. Yang ketiga adalah perintah percabangan, yaitu perintah apabila kondisi tertentu adalah benar terjadi, maka ia akan langsung melompat ke bagian tertentu. Contohnya ketika ingin melakukan lompatan apabila nilai yang didapatkan lebih besar dari 0. Yang terakhir adalah perintah loop, dalam kurun waktu yang ditentukan program akan mengulang-ulang perintah yang diberikan(Durfee, 2011)

Pada saat pembuatan program, harus dimasukan kode yang memiliki *syntax* dengan perintah yang tepat pada tiap barisnya. Program dimasukan baris demi baris. Kalimat “*myvariable*” berbeda arti dengan “*MyVariable*” karena kode sangatlah sensitif(Durfee, 2011)

Bahasa perintah terdapat berbagai jenis yaitu(Durfee, 2011):

- *Statements*
Merupakan sebuah perintah yang diakhiri dengan tanda petik-koma “;” pada akhir
- *Comments*
Merupakan teks yang tidak masuk kedalam perintah, digunakan sebagai komentar dengan diawali tanda “//”
- *Constants*
Merupakan angka fix dengan bilangan decimal, hexadecimal atau biner
- *Labels*
Digunakan untuk mereferensikan lokasi pada program yang dibuat
- *Variables*
Sebuah variable buatan yang digunakan dengan mendeklarasikan variable tersebut terlebih dahulu pada program
- *Symbols*
Untuk mendefinisikan ulang untuk memberikan nama agar kode dapat lebih mudah dibaca

2.6. Pengukuran

“Mengukur adalah membandingkan parameter pada obyek yang diukur terhadap besaran yang telah distandarkan, sedangkan pengukuran merupakan suatu usaha untuk mendapatkan informasi deskriptif-kuantitatif dari variabel-variabel fisika dan kimia suatu zat atau benda yang diukur, misalnya panjang 1m atau massa 1 kg dan sebagainya”(Koestoer, 2005). *“Measurement is a comparison of a given unknown quantity with one of its predetermined standard values adopt as unit. Measurement provide us with means of describing various phenomena in quantitative terms”*(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

Dapat ditarik kesimpulan bahwa pengukuran adalah usaha untuk mendapatkan informasi deskriptif-kuantitatif yang tidak diketahui dari variabel fisika dan kimia dengan membandingkan parameter pada objek yang diukur terhadap besaran berstandar sehingga dapat menggambarkan fenomena dalam bentuk kuantitatif. Pengukuran merupakan basis dari riset ilmu pengetahuan dan industry(Placko, 2007).

Pengukuran dibutuhkan untuk menentukan besaran asli dari sebuah komponen, menambah pengetahuan dan pemahaman tentang dunia, mengukur kesehatan masyarakat dan keamanan, merubah parameter fisik menjadi angka yang berarti, untuk mengevaluasi performa dari system, mempelajari hukum dasar alam dan lainnya(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

2.6.1. Tata cara pengukuran

Terdapat 3 tahap dalam pengukuran(Koestoer, 2005) yaitu:

1. Tahap *detector*

Pada tahap ini adanya perubahan besaran fisik pada objek yang diukur yang terdeteksi atau dirasakan yang tidak boleh terpengaruh terhadap pengaruh lain yang tidak dikehendaki. Seperti percepatan atau sensor percepatan linier tidak boleh mempengaruhi sensor gaya walaupun tidak dapat terjadi secara ideal namun masih dalam batasan yang di izinkan

2. Tahap *intermediate*

Pada tahap ini hasil dari tahap pertama dikondisikan sinyalnya untuk dapat dinyatakan pada tahap terakhir dengan melakukan seperti penyaringan, penguatan atau transformasi sinyal agar kemampuan sinyal dapat ditingkatkan ke tingkat yang mampu mengaktifkan tahapan akhir

3. Tahap *pembacaan*

Pada tahap ini manusia atau perangkat kembali dapat membaca informasi yang terkandung berbentuk gerakan relatif seperti jarum penunjuk atau *digital*

Terdapat sembilan metode pengukuran yang dapat digunakan (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009):

- Metode pengukuran langsung
Pada pengukuran langsung, *standard* yang telah dikalibrasi yang ada langsung dibandingkan dengan parameter yang ingin diukur. Pada besaran-besaran fisik seperti panjang, berat dan waktu, biasanya melakukan pengukuran dengan metode pengukuran langsung
- Metode pengukuran tidak langsung
Pengukuran tidak langsung dilakukan dengan menggunakan beberapa perangkat transducing yang merubah nilai yang akan diukur menjadi sinyal *analog* yang akan diproses oleh perangkat perantara dan ditampilkan oleh perangkat *output* sebagai fungsi dari nilai *output*.
- Metode komparatif
Metode ini mengomparasi nilai lain yang sudah diketahui dengan nilai yang akan diukur
- Metode *coincidence*
Pada metode ini dilakukan dengan apabila garis atau sinyal tertentu bertepatan dengan nilai yang akan diukur dan ditentukan.
- Metode dasar
Pengukuran dengan mengukur nilai yang langsung berhubungan dengan definisi dari nilai ukur tersebut.
- Metode kontak
Area atau diameter dari bagian yang ingin diukur bersentuhan langsung dengan sensor atau ujung alat ukur seperti Vernier caliper
- Metode transposisi
Pengukuran dengan pertama-tama menyeimbangkan nilai ukur suatu benda dengan benda yang sudah diketahui nilai ukurnya. Selanjutnya benda tersebut menjadi nilai

ukur untuk mengukur benda lain. Contohnya seperti timbangan dengan penyeimbangan

- Metode pelengkap

Nilai kuantitas yang akan diukur digabungkan dengan nilai yang diketahui dari kuantitas yang sama. Contohnya penentuan volume dengan *perpindahan* cairan

- Metode defleksi

Defleksi dari pointer menunjukkan langsung besaran dari nilai yang ingin diukur. Contohnya seperti pengukuran tekanan.

2.6.2. *Standard*

Standard adalah sebuah presentasi fisik dari satuan pengukuran. *Standard* disebut juga nilai ukuran yang akurat dari kuantitas fisik dengan metode perbandingan. Berbagai macam *standard* dikembangkan dengan berbagai variasi satuan termasuk dasar teorinya. (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

2.6.2.1 *International Standard*

Standard internasional disebut juga sebagai kesepakatan internasional. Dasar besaran fisiknya dievaluasi dan diperiksa tiap satuan waktu dengan pengukuran absolut agar hasil pengukurannya dapat sedekat mungkin dengan akurasi yang memungkinkan (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

2.6.2.1.1 *Primary Standard*

Menurut buku *Mechanical Measurement and Metrology*, *Standard* utama merupakan satu-satunya *standard* yang sangat presisi yang harus dipertahankan kondisinya yang hanya digunakan pada saat memperbandingkan dengan standar sekunder (*Mechanical Measurement and Metrology*). Standar utama merupakan pengkalibrasi dan verifikasi dari standar sekunder yang dirawat oleh laboratorium *standard* nasional pada tiap negara (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

2.6.2.1.2 *Secondary Standard*

Standard sekunder merupakan sebuah standar yang dibuat sama persis dengan standar utama dalam hal desain, ukuran, dan material yang nilainya dibandingkan dengan standar primer. *Standard* sekunder disimpan di tempat yang aman. (*Mechanical Measurement and Metrology*). Standar sekunder digunakan oleh laboratorium

pengukuran dan kalibrasi di industry sebagai referensi dasar *standard*. *Standard* sekunder ini disimpan dan dirawat oleh industri(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

2.6.2.1.3 Working Standard

Standard kerja digunakan lebih sering oleh laboratorium dengan terbuat dari bahan dengan kelas rendah(*Mechanical Measurement and Metrology*). Standar ini digunakan untuk memastikan dan mengkalibrasi peralatan laboratorium untuk akurasi dan performa(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

2.6.3. Karakteristik dari alat ukur

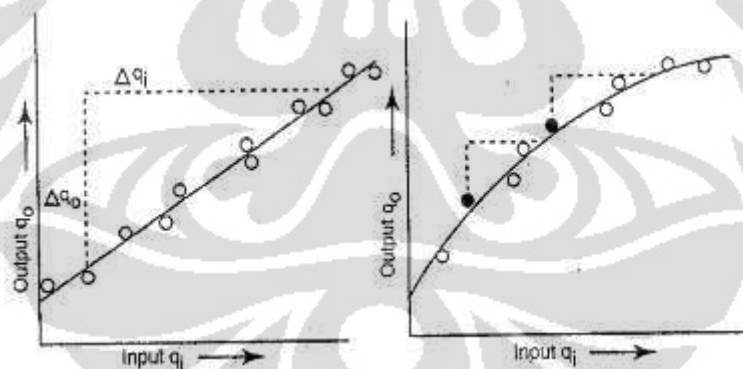
2.6.3.1 Sensitivitas

Rasio besarnya sinyal keluar dan besarnya sinyal masuk didefinisikan sebagai sensitivitas yang menandakan seberapa besar alat ukur merespon sekecil mungkin *input* perubahan yang terjadi pada pengukuran(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

$$\text{sensitivity} = \frac{\Delta q_o}{\Delta q_i} \quad (2.8)$$

Δq_o = perubahan sinyal keluaran

Δq_i = perubahan sinyal masuk



Gambar 2.17. hubungan sensitivitas
(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

Sensitivitas akan memiliki nilai yang selalu konstan pada tiap nilai *input* jika *input* dan *output* memiliki hubungan yang linier. Sensitivitas akan memiliki nilai yang bergantung pada kualitas nilai *input* jika *input* dan *output* memiliki nilai yang tidak linier. Rentang dari alat ukur tidak boleh melebihi nilai yang ingin diukur agar sensitivitas dari

alat ukur seharusnya memiliki nilai yang tinggi yang mungkin terdapat (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

2.6.3.2 Keterbacaan

Tidak sepenuhnya nilai dari alat ukur *analog* adalah mutlak benar. Alat ukur *analog* biasanya digunakan untuk tipe pengukuran seperti massa atau temperatur. Pada alat ukur *analog* sering terdengar kata-kata “*readability*” atau keterbacaan yang bergantung pada alat ukur dan pengukur. Keterbacaan di definisikan sebagai seberapa dekat skala alat ukur *analog* yg bisa dibaca. Alat ukur berat dengan rentangan sepanjang 15cm memiliki keterbacaan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan alat ukur berat dengan rentangan sepanjang 30cm dengan rentang pengukuran yang sama (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

2.6.3.3 Akurasi

Akurasi merupakan kemampuan dari alat ukur untuk merespon nilai yang sebenarnya dari variable ukur dari referensi yang diukur (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Jika tidak ada sistematik *error* dari alat ukur, maka alat ukur tersebut dikatakan akurat (Placko, 2007). Akurasi merupakan kemampuan ekspektasi dari sebuah sistem untuk membedakan dua buah pengaturan yang dibandingkan dari hasil yang diinginkan dengan yang tidak diinginkan (wali, 2011). Akurasi merupakan tingkat nilai terukur cocok dengan nilai yang sebenarnya (*Mechanical Measurement and Metrology*).

2.6.3.3.1 Akurasi sebagai persentasi pembacaan skala penuh

Aplikasi dari tipe pengukuran akurasi ini dalam kasus jika alat ukur memiliki skala yang seragam.

$$\%full\ scale\ reading = \frac{nilai\ terukur - nilai\ sebenarnya}{nilai\ skala\ maksimum} \quad (2.9)$$

Misalkan jika akurasi dari alat ukur memiliki pembacaan skala penuh dari 50 unit sebesar 0.1% dari pembacaan skala penuh, maka akan ada *error* sebesar 0.05 unit (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

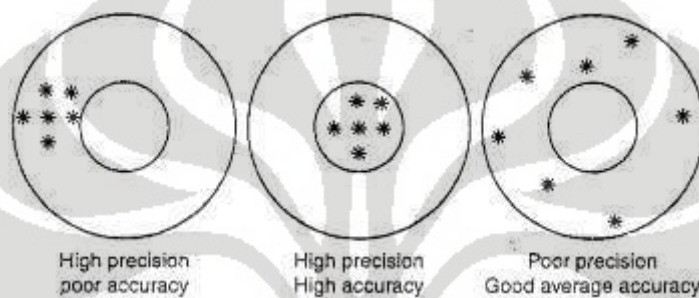
2.6.3.3.2 Akurasi sebagai persentasi nilai yang sebenarnya

Ini merupakan langkah terbaik untuk mengukur akurasi dengan menentukan nilai sebenarnya dari kuantitas yang diukur (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

$$\begin{aligned} & \text{percentage of true value} \\ & = \frac{\text{nilai terukur} - \text{Nilai sebenarnya}}{\text{nilai sebenarnya}} \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.6.3.3.3 Akurasi sebagai persentasi skala rentang

Akurasi dapat dispesifikasikan dengan persentase dari skalanya. Misalkan sebuah alat ukur memiliki rentang 10-150 unit, dengan akurasinya 0.1%. maka alat ukur tersebut memiliki $\pm 0.1\% \times (150-10) = \pm 0.14$ unit yang *error* di setiap pengukuran dalam rentangan itu (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)



Gambar 2.18. Akurasi vs Presisi
(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

2.6.3.4 Presisi

Presisi didefinisikan sebagai ketepatan yang dirancang untuk suatu alat ukur yang mengacu pada pengulangan dan konsistensi ketika pengukuran dilakukan dalam kondisi identik pada *interval* waktu yang singkat (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Presisi merupakan proses pengukuran berulang yang berpaku pada kelompok pengukuran dengan karakteristik yang sama pada kondisi yang diidentifikasi. Hal tersebut mengindikasikan performa pengukuran yang sesuai satu sama lain (*Mechanical Measurement and Metrology*). Presisi merupakan akurasi tingkat tinggi yang mengukur persebaran dari hasil pengukuran (wali, 2011).

Presisi tersusun oleh dua buah komponen (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009), yaitu

- Kesesuaian (*Conformity*)

Ketika sebuah resistor memiliki nilai 2834267 Ohm, dan diukur dengan multimeter konsisten dan berulang menunjukkan angka 2.8M Ohm dengan skala yang terdapat. Tidak terdapat penyebaran data yang terukur namun *error* yang didapat dikarenakan keterbatasan skala dari alat ukur tersebut yang disebut kesalahan presisi.

- Angka Penting (*Significant Figures*)

Angka penting memberikan informasi aktual tentang besarnya dan ketepatan pengukuran. Ketepatan bergantung pada angka penting yang dinyatakan. Lebih banyak angka penting yang ditunjukkan. Maka ketepatan akan semakin baik.

2.6.3.5 Keandalan (*Reliability*)

Merupakan sebuah karakteristik kuantitatif yang bergantung pada karakteristik pendistribusian data terdapat penyimpangan yang sesuai yang dapat menyiratkan keyakinan pada alat tersebut sehingga probabilitas dari hasilnya akan dapat diprediksi (Wali, 2011). Sebuah sensor dapat diandalkan ketika memiliki nilai deviasi yang rendah. Pada industri, strategi untuk mengembangkan kualitas produknya adalah dengan meningkatkan keandalan dan produktivitas. Kebutuhan utama untuk keandalan adalah dengan mengembangkan tingkat kecerdasan dari sensor (Placko, 2007).

2.6.3.6 Ketidakpastian (*Uncertainty*)

Ketidakpastian memberikan keraguan terhadap ketepatan hasil dari pengukuran. Karena hasil pengukuran tidak hanya satu nilai namun beberapa nilai yang tersebar dengan berbagai tingkat kredibilitas. Ketidakpastian merupakan parameter yang terkait dalam pengukuran yang mencirikan penyebaran nilai yang secara wajar yang tiap alat ukur memiliki ketidakpastian yang berbeda (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

Sebuah hasil pengukuran harus memiliki nilai yang paling memungkinkan yang didalamnya terdapat rentang nilai ketidakpastian. Pengukuran ketidakpastian adalah perbedaan dari nilai sebenarnya yang diukur dengan nilai yang terukur di sensor. Kesalahan pembacaan, kecacatan pada sensor, dan hysteresis merupakan salah satu dari banyak penyebab ketidakpastian. Penanganan dengan metode pertahanan seperti regulasi elektrik, stabilisasi temperature, isolasi mekanis, perisai elektromagnetik, penyalangan, memproses sinyal dapat mengurangi ketidakpastian. Ketidakpastian dapat dievaluasi dengan menentukan nilai standar deviasi dan varians (Placko, 2007).

Pemberitahuan hasil dari eksperimen dengan nilai ketidakpastiannya dapat membuat orang lain memberikan penilaian terhadap kualitas dari eksperimen tersebut yang dapat dibandingkan dengan hasil yang menyerupai atau prediksi teoritis (*Measurements and Error Analysis*, 2011).

Nilai keraguan dapat dicari dengan persamaan (*Measurements and Error Analysis*, 2011):

$$\text{Relative Uncertainty} = \left| \frac{\text{Uncertainty}}{\text{Measured Quantity}} \right| \quad (2.11)$$

2.6.4. Kesalahan (*Error*)

Besarnya perbedaan antara nilai yang terukur dengan nilai sesungguhnya disebut dengan *error* atau kesalahan (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Nilai sebenarnya dari yang diukur tidak mungkin untuk diukur, pasti selalu akan ada kesalahan (*Mechanical Measurement and Metrology*). Nilai kesalahan dapat dilihat dengan nilai kesalahan mutlak dan kesalahan relatif (*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Nilai kesalahan diklasifikasikan menjadi dua yaitu kesalahan acak dan kesalahan sistematis (*Measurements and Error Analysis*, 2011)

- *Absolute Error*

Dibagi menjadi dua klasifikasi yaitu *True Absolute Error* dan *Apparent Absolute Error*. *True Absolute Error* merupakan perbedaan aljabar antara hasil pengukuran dengan nilai sesungguhnya dari kuantitas yang diukur. Sedangkan *Apparent Absolute Error* merupakan perbedaan aljabar antara salah satu hasil pengukuran dengan nilai rata-rata aritmatikanya (*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

- *Relative Error*

Relative error merupakan hasil dari *Absolute error* dan nilai perbandingan yang digunakan untuk menghitung *Absolute error* seperti nilai sebenarnya, nilai konvensional sebenarnya, atau rata-rata aritmatika (*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). *Relative error* memiliki persamaan (*Measurements and Error Analysis*, 2011)

$$\text{Relative Error} = \frac{\text{Measured Value} - \text{Expected Value}}{\text{Expected Value}} \quad (2.12)$$

2.6.4.1 Tipe-tipe kesalahan

1. Kesalahan statis

Sebuah kesalahan yang terjadi akibat fisik alami dari variasi komponen dari sistem pengukuran (*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Kesalahan statis bergantung pada efek lingkungan dan sifat lain yang mempengaruhi tempat pengukuran (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

a. *Reading error*

Sebuah kesalahan yang terdapat pada alat ukur yang dibaca yang di deskripsikan dalam dua buah faktor yaitu kesalahan parallax dan kesalahan interpolasi. Kesalahan interpolasi merupakan kesalahan pembacaan hasil dari evaluasi yang tidak tepat dari posisi penunjuk(*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Penggunaan alat ukur *digital* mengurangi kesalahan subjektif. Penggunaan kaca dibelakang indicator pembaca mengurangi kejadian dari kesalahan parallax(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009) ketebalan dari tanda, jarak antar skala, dan ketebalan penunjuk mempengaruhi keakuratan dalam membaca(*Mechanical Measurement and Metrology*)

b. *Characteristic Error*

Merupakan deviasi keluaran dari sistem pengukuran dari spesifikasi kinerja nominal atau kinerja teoritis yang terprediksi. Kelurusan, pengulangan, histerisis, resolusi merupakan bagian dari kesalahan karakteristik(*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

c. *Environmental error*

Setiap alat ukur dibuat dan dikalibrasi pada suatu tempat dan digunakan di tempat lain yang memiliki kondisi lingkungan seperti temperatur, tekanan, dan kelembaban yang berbeda sehingga mempengaruhi pembacaan dari alat ukur. Kesalahan ini dapat dikurangi dengan memantau kondisi atmosfer, mengkalibrasi alat ukur di tempat penggunaan alat ukur tersebut(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Penyebab luar seperti medan listrik, radiasi nuklir, serta getaran atau hentakan termasuk juga dalam penyebab kesalahan lingkungan(*Mechanical Measurement and Metrology*)

2. Kesalahan berbeban

Kesalahan yang terjadi karena adanya perbedaan nilai yang terukur saat sebelum dan sesudah sistemnya terhubung misalkan saat pengukuran terjadi deformasi karena terkena tekanan kontak dari instrument yang menyebabkan kesalahan pemuatan yang sifatnya tidak terhindarkan(*Mechanical Measurement and Metrology*). Terjadi kehilangan energi karena pengukuran itu sendiri karena alat ukur selalu mengambil *input* dari sumber sinyal yang mereduksi sumber sinyal(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

3. Kesalahan dinamis

Kesalahan dinamis terjadi akibat variasi waktu dalam pengukuran. Hasil tersebut karena ketidakmampuannya suatu sistem untuk merespon dengan tepat waktu pengukuran bervariasi (*Mechanical Measurement and Metrology*). Hal tersebut disebabkan karena inersia, pelembaman, gesekan, penjepitan atau paksaan fisik lainnya dalam sistem pembacaan (*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

a. *Systematic error*

Merupakan kesalahan yang konstan dan serupa dalam bentuknya. Kesalahan ini dapat dikontrol dalam pengertian, besaran, ditentukan dan dikurangi (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Kesalahan ini sulit dideteksi dan tidak dapat dianalisis secara statistik. Jika kesalahan sistematis diidentifikasi ketika melakukan kalibrasi terhadap standar, menerapkan koreksi atau faktor koreksi untuk mengimbangi efek dapat mengurangi bias. (*Measurements and Error Analysis*, 2011).

Kesalahan sistematis mencakup 4 jenis (*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009):

- Kesalahan kalibrasi

Kalibrasi merupakan proses mengetahui *input* sistem pengukuran agar *output* dari pengukuran serasi dengan *input* pengukuran. Ketika alat ukur tidak di kalibrasi maka alat ukur akan memperlihatkan tingkat kesalahan yang sangat tinggi (Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

Disebabkan karena variasi dalam skala yang dikalibrasi dari nilai normalnya. Hal tersebut menyebabkan kesalahan dalam pengukuran dengan besaran konstan (*Mechanical Measurement and Metrology*)

- Kondisi lingkungan

Hal ini disebabkan karena variasi dari kondisi atmosferik yang biasanya alat ukur dikalibrasi dalam kondisi suhu dan tekanan tertentu yang tidak sama di tiap tempat yang menyebabkan kesalahan (*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).

- Kesalahan yang dapat dihindari

Kesalahan ini dapat terjadi karena ketidak selarasan titik pusat, lokasi yang tidak tepat dari alat ukur yang seharusnya dapat dihindari(*Mechanical Measurement and Metrology*)

- Tekanan stilus

Ketika melakukan pengukuran dengan menggunakan komponen yang tertekan, deformasi dan defleksi dari alat ukur mungkin terjadi yang dapat mempengaruhi hasil dari pengukuran(*Mechanical Measurement and Metrology*; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009)

- b. Random error

Sebuah kesalahan yang acak dan alasan dari tipe kesalahan ini tidak dapat dispesifikasikan. Kesalahan ini tidak dapat diketahui penyebabnya walaupun nilai *error* sistematis telah terhitung(Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Kesalahan ini tidak konsisten yang terjadi secara tidak sengaja yang terjadi alami. Kesalahan ini sulit untuk dieleminasi. Nilai pembesarannya dan sumbernya tidak dapat di telusuri(*Mechanical Measurement and Metrology*). Nilai random error sulit untuk dihindari dan sulit untuk dieleminasi(*Mechanical Measurement and Metrology*; Moris, 2001; Placko, 2007)

2.6.4.2 Root Mean Square Error

Root Mean Square Error atau yang sering disingkat RMSE sering digunakan untuk mengukur performa dari *model error*. RMSE dapat dihitung dengan persamaan(Chai & Draxler, 2014)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - y_{observasi})^2} \quad (2.13)$$

2.7. Statistika

Statistika adalah sebuah teknik atau prosedur dari analisa, interpretasi, penampilan dan membuat keputusan berdasarkan data yang dimiliki(Lane et al.). Statistik merupakan metode ilmiah guna mendukung pengambilan kesimpulan yang valid dan berguna sehingga dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang masuk akal dalam mengumpulkan, mengkasifikasikan, meringkas, menyajikan, menginterpretasikan dan menganalisis data. Metode statistic memberikan pendekatan untuk mencegah kegagalan

dalam suatu desain mesin, menganalisis eksperimen teknik, dan pengendalian mutu manufaktur(Harinaldi, 2005).

Penggunaan statistika melibatkan pengumpulan data ilmiah digunakan di bidang manufaktur, pengembangan produk makanan, perangkat lunak computer, farmasi, dan banyak bidang lain. Metode statistika dirancang untuk berkontribusi dalam pembuatan penilaian dalam menghadapi ketidakpastian dan variasi data. Metode statistika digunakan untuk berurusan dengan variabilitas yang ditemui dalam data ilmiah, yang jika data ilmiah yang didapatkan selalu sama dan selalu tepat sasaran, metode statistic tidak diperlukan(Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2007)

Pada statistik, data yang dikumpulkan dibedakan menjadi dua macam yaitu data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif merupakan data yang bukan berupa bilangan atau angka yang tidak dapat dilakukan operasi matematika. Sedangkan data kuantitatif merupakan data yang berbentuk angka atau bilangan yang dapat dilakukan operasi matematika(Harinaldi, 2005)

2.7.1. Sampel dan populasi

Sampel merupakan bagian yang dipilih dari populasi yang bersangkutan untuk mengetahui karakteristik khususnya (DeCoursey, 2003). Sampel merupakan subset kecil yang diambil dari populasi. Pengambilan sampel dilakukan untuk mengambil kesimpulan yang mewakili suatu populasi. Dalam pemilihan sampel harus mewakili keseluruhan dari populasi, tidak hanya sebagian kelompok dari populasi tersebut. Strategi paling mudah untuk pengambilan sampel adalah pengambilan sampel acak (simple random sampling). Tiap anggota dari populasi harus memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih sebagai sampel dalam metode ini. Pengambilan satu anggota harus tidak terikat atau tidak menambah atau mengurangi kemungkinan memilih anggota lain sehingga pemilihan sampel terjadi secara murni(Lane et al.).

2.7.2. Probabilitas

Probabilitas merupakan konsep paling penting dalam ilmu pengetahuan modern, karena tidak satu orang pun yang tau maksud artinya. Karena orang-orang memiliki gagasan yang tidak jelas dengan kemungkinan yang akan terjadi dari suatu peristiwa(Sahoo, 2013). Probabilitas merupakan bilangan yang terletak antara 0 dan 1 yang berkaitan dengan suatu peristiwa tertentu(Harinaldi, 2005). Probabilitas dapat diartikan sebagai ukuran kemungkinan bahwa peristiwa tertentu akan terjadi. Apabila

yakin suatu hal akan terjadi maka kemungkinannya adalah 1 atau 100% sedangkan apabila tidak mungkin terjadi maka kemungkinannya 0 atau 0%. Secara umum probabilitas bukanlah fraksi dari semua percobaan karena hasil dari setiap percobaan terjadi secara kebetulan. Misalkan ketika kita melempar koin yang memiliki nilai probabilitas 0.5, bisa saja dalam enam kali percobaan yang muncul adalah enam muka yang sama (DeCoursey, 2003).

2.7.3. Rata-rata

Rata-rata merupakan nilai khas yang mewakili sifat tengah, atau posisi pusat dari suatu kumpulan nilai data yang sebenarnya meliputi beberapa ukuran pemusatan data (Harinaldi, 2005).

Nilai rata-rata dalam prakteknya seringkali mengacu pada *mean* aritmetika atau *mean* yang dirumuskan sebagai berikut:

Data tidak terkelompok:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{untuk suatu sampel}) \quad (2.14)$$

$$\mu_x = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{n} \quad (\text{untuk suatu populasi}) \quad (2.15)$$

Data terkelompok:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k f_i x_{m,i}}{n} \quad (\text{untuk suatu sampel}) \quad (2.16)$$

$$\mu_x = \frac{\sum_{i=1}^K f_i x_{m,i}}{n} \quad (\text{untuk suatu populasi}) \quad (2.17)$$

Dimana:

$\bar{x}$ = *mean* aritmetika dari sampel

μ_x = *mean* aritmetika dari populasi

x_i = nilai dari data (variabel x)

k = jumlah *interval* kelas dalam suatu sampel

K = jumlah *interval* kelas dalam suatu populasi

n = banyaknya data x sssss

f_i = frekuensi atau jumlah pengamatan dalam sebuah *interval* kelas

x_{mi} = nilai tengah dari *interval* kelas

2.7.4. P-Value

Tingkat signifikansi pengamatan atau *p-value* merupakan probabilitas untuk mendapatkan hasil yang diharapkan pada pengamatan untuk membuktikan apakah hipotesis nol benar. Ketika nilai ini kecil, maka hipotesis nol memiliki kemungkinan yang kecil, dan hipotesis nol tidak memungkinkan ketika tingkat signifikansi pengamatan sangat kecil (DeCoursey, 2003). *P-value* merupakan batas minimum signifikansi dari nilai pengamatan untuk uji statistik yang signifikan (Walpole et al., 2007). Pada uji distribusi normal akan semakin kuat jika asumsi normalitas (signifikansi) dilanggar. Nilai probabilitas (*p-value*) actual berbeda dengan nilai probabilitas nominal. Ketika *p-value* actual memiliki nilai yang lebih besar dari *p-value* nominal, maka hipotesis nol di tolak yang artinya data terdistribusi normal yang biasanya *p-value* yang digunakan adalah 0.05 (Lane et al.).

2.7.5. Standard Deviasi

Standard deviasi merupakan akar kuadrat positif dari varians (DeCoursey, 2003; Lane et al.; Sahoo, 2013). Varians merupakan penyebaran dari distribusi sebuah variabel x acak, begitu juga dengan *standard* deviasi digunakan untuk mengukur suatu penyebaran (Sahoo, 2013). *Standard* deviasi sangat berguna untuk mengukur variabilitas ketika distribusinya adalah distribusi normal atau mendekati distribusi normal karena proporsi dari distribusi dalam sejumlah *standard* deviasi dari rata-rata dapat dihitung yaitu 68% dari keseluruhan data berada dalam rentang satu *standard* deviasi dari *mean* dan 95% dari keseluruhan data berada dalam rentang 2 *standard* deviasi (Lane et al.). *standard* deviasi dengan varians mengukur variabilitas, namun varians mengukur variabilitas dalam satuan kuadrat sedangkan *standard* deviasi mengukur variabilitas secara linier (Walpole et al., 2007)

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x - \mu)^2}{n} \quad (2.18)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{n}} \quad (2.19)$$

Dimana:

σ^2 = varians

σ = standar deviasi

μ = *mean*

n = banyaknya sampel

2.7.6. Distribusi t

Apabila sebuah sampel memiliki ukuran kecil ($n < 30$), maka estimasi dengan prosedur menggunakan distribusi normal (Gaussian) tidak dapat dipakai, namun secara teoritis masih memungkinkan dengan menggunakan distribusi normal z jika distribusi populasinya dapat dipastikan terdistribusi normal. Apabila distribusi populasinya dipastikan normal namun deviasi *standard* populasi tidak diketahui, maka distribusi *mean* sampling akan mengikuti distribusi-t (Harinaldi, 2005)

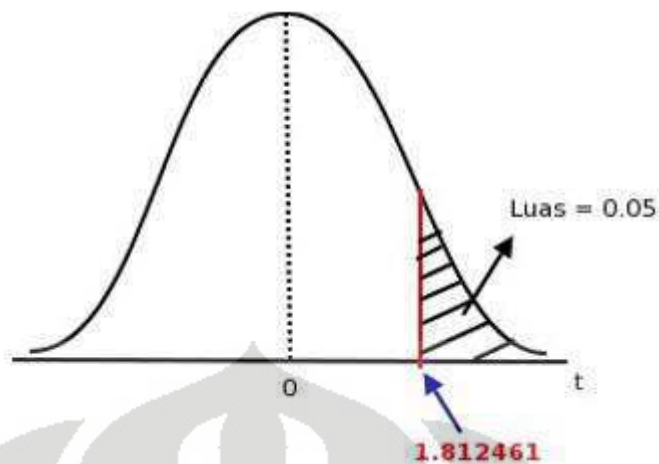
2.7.6.1 Karakteristik distribusi-t

Distribusi ini memiliki derajat kebebasan berupa $v = n - 1$ dengan probabilitas α . Distribusi ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut (Harinaldi, 2005):

1. Memiliki distribusi yang simetris terhadap *mean* yang serupa dengan distribusi normal z
2. Ukuran sampel mempengaruhi bentuk distribusinya. Distribusi t merupakan kumpulan distribusi yang memiliki perbedaan satu dengan lainnya tergantung pada ukuran sampel
3. Pada ukuran sampel yang semakin mendekati 30, maka keruncingan bentuk distribusi akan semakin mendekati distribusi normal-z

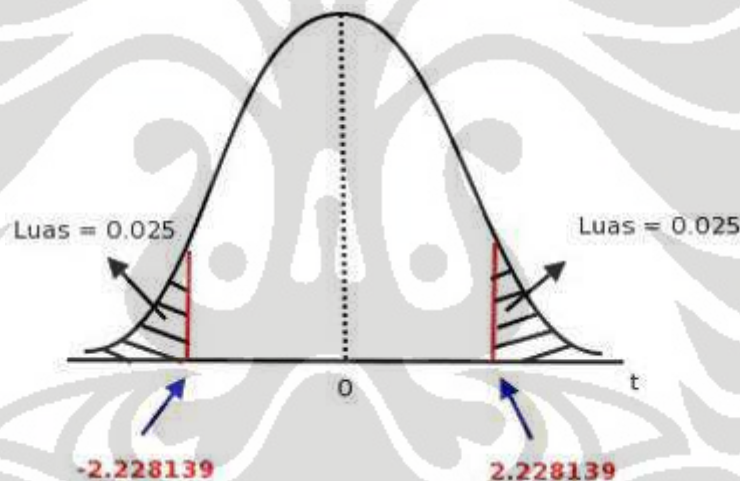
2.7.6.2 Notasi $t_{\alpha,n}$ dan tabel distribusi-t

Notasi $t_{\alpha,n}$ menyatakan nilai kritis t pada sumbu t yang memiliki luas daerah dibawah kurva distribusi-t dengan derajat kebebasan n disebelah kanan nilai $t_{\alpha,n}$ adalah sebesar α (Harinaldi, 2005).



Gambar 2.19. Kurva Distribusi-t Pada $t_{0.05,10}$
(Kurniawan, 2008)

Berikut merupakan contoh kurva distribusi t pada saat $t_{0.05,10}$ yang memiliki nilai kritis 1.81246 dengan distribusi t satu arah ke kanan. Luas daerah di kanan garis nilai kritisnya adalah seluas 0.05 dari keseluruhan luas dibawah garis kurva distribusi tersebut.



Gambar 2.20. Kurva Distribusi-t Pada $t_{0.05/2,10}$
(Kurniawan, 2008)

Berikut merupakan contoh kurva distribusi t pada saat $t_{0.05/2,10}$ yang memiliki nilai kritis ± 2.228139 dengan distribusi t dua arah. Luas daerah di sisi luar garis nilai kritisnya adalah seluas 0.05 dari keseluruhan luas dibawah garis kurva distribusi tersebut

2.7.7. Kalibrasi

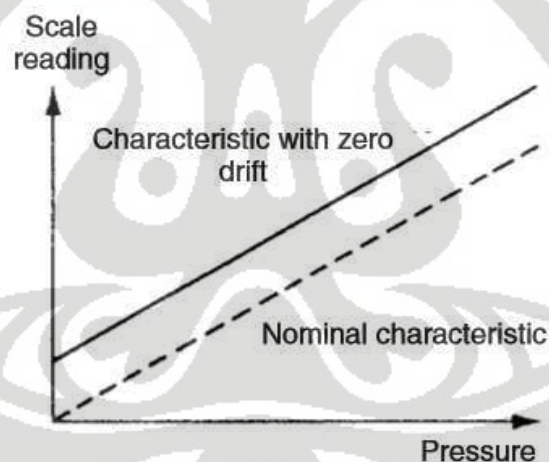
Kalibrasi merupakan perbandingan keluaran dari alat ukur atau sensor yang diuji dengan keluaran dari alat ukur yang akurasinya sudah diketahui pada saat *input* dari kedua alat ukur sama. Kalibrasi memastikan akurasi pengukuran pada alat ukur pada rentang pengukuran pada kondisi alat ukur tersebut dikalibrasi. ISO 9000 mengatur

prosedur kalibrasi untuk pengukuran yang digunakan untuk pengendalian kualitas. ISO 9000 juga menyatakan untuk menjamin mutu keakuratan semua alat ukur yang terkait pada proses produksi (Moris, 2001).

Kalibrasi sederhana memiliki dua buah metode yaitu dengan membandingkan nilai terukur dengan *standard* atau referensi yang sudah diketahui atau yang disebut juga kalibrasi langsung. Lalu pengkalibrasian dengan membandingkan hasil pengukuran dengan sensor yang sudah terkalibrasi yang dijadikan acuan atau yang disebut juga dengan kalibrasi perbandingan (Placko, 2007).

Setiap kalibrasi dan spesifikasi alat ukur berlaku pada saat kondisi terkontrol suhu, tekanan dan lainnya. Kondisi alat ukur standar biasanya didefinisikan dengan spesifikasi alat ukur. Namun karena adanya variasi pada suhu tekanan dan lainnya, karakteristik instrument pun ikut berubah yang besarnya bergantung pada kepekaan dari alat ukur terhadap gangguan. Perubahan tersebut mempengaruhi pada dua jenis yaitu (Moris, 2001):

1. *Zero Drift*

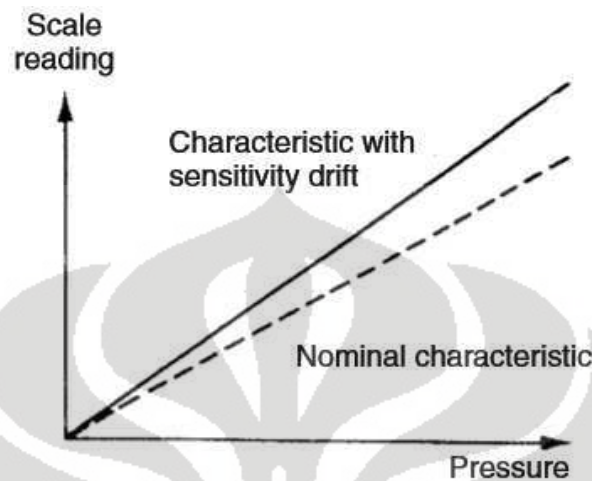


Gambar 2.21. *Zero Drift*
(Moris, 2001)

Zero drift biasanya dikenal dengan sebutan bias. *Zero drift* atau bias diartikan sebagai efek dimana pengukuran nol dari alat ukur berubah dikarenakan adanya perbedaan pada kondisi lingkungan sehingga terjadinya kesalahan yang konstan pada seluruh rentang pengukuran dari alat ukur. *Zero drift* biasanya dihilangkan dengan melakukan kalibrasi. *Zero drift* biasanya ditemukan pada alat ukur seperti voltmeter yang terpengaruh terhadap perubahan temperature lingkungan. Ketika alat ukur memiliki

karakteristik yang sensitif terhadap seluruh parameter lingkungan, maka akan terdapat banyak koefisien *zero drift* untuk tiap koefisien.

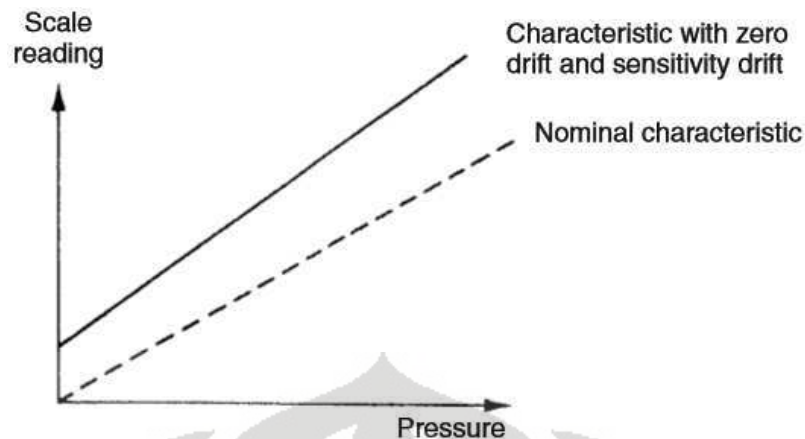
2. *Sensitivity Drift*



Gambar 2.22. *Sensitivity Drift*
(Moris, 2001)

Sensitivity drift atau sering disebut *scale factor drift* didefinisikan sebagai nilai dimana sensitivitas dari alat ukur bervariasi sesuai dengan kondisi lingkungan yang berubah. Nilai koefisien *sensitivity drift* didefinisikan sebagai seberapa besar perubahan yang terjadi untuk setiap satuan perubahan parameter lingkungan yang terjadi. Banyak komponen dari alat ukur yang terpengaruh terhadap fluktuasi lingkungan. Nilai kesalahan ini terjadi karena sensitivitas dari alat ukur yang digunakan tidak sesuai dengan karakteristik sensitivitas seharusnya sehingga terjadi penyimpangan yang berpengaruh pada tiap nilai *input* yang berbeda-beda.

3. Combined Zero and *Sensitivity Drift*



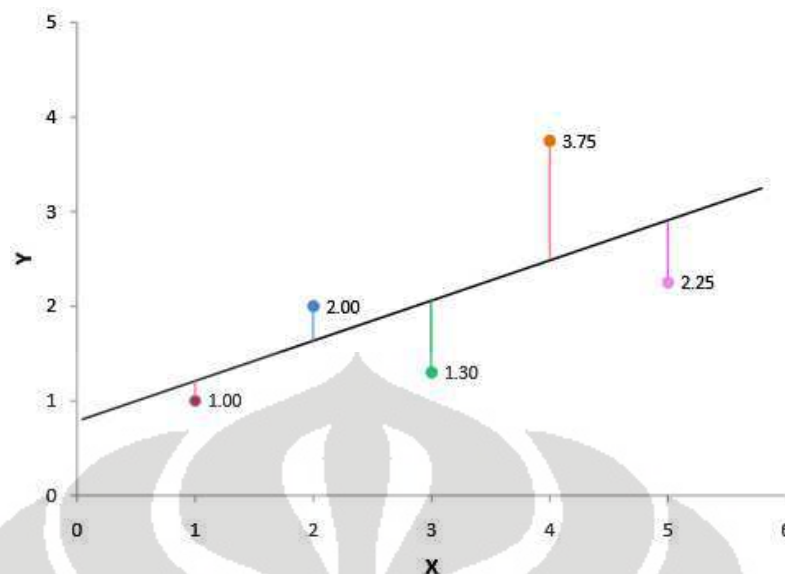
Gambar 2.23. Combined Zero and Sensitivity Drift
(Moris, 2001)

Kesalahan *zero* dan *span/sensitivitas* dapat diperbaiki dengan melakukan kalibrasi. Pengaturan kesalahan *zero* digunakan untuk menggeserkan secara paralel kurva *input-output*. Sedangkan pengaturan kesalahan *span/sensitivitas* digunakan untuk merubah kemiringan(*slope*) dari kurva *input-output*. Pengaturan ini ditujukan ke kurva nilai sebenarnya (kurva garis $y=x$) (ISA.org).

2.8. Regresi

Dalam regresi, terdapat dua buah variabel yaitu variabel x sebagai variabel tidak terikat, dan variabel y sebagai variabel terikat yang mana di asumsikan variabel x tidak memiliki kesalahan. Namun, kesalahan acak terdapat dalam variabel terikat yang terjadi karena pengukuran dan perkiraan. Efek variasi dari variabel tidak terikat akan mempengaruhi kesalahan dalam variabel terikat. Nilai yang diharapkan dari y bervariasi sebagai fungsi dari x dan kesalahan yang menyebabkan penyimpangan pada nilai y yang terukur. Jika terdapat beberapa nilai y dalam satu nilai x , maka nilai *mean* dari y akan memberikan perkiraan nilai y yang diharapkan pada nilai x (DeCoursey, 2003).

Pada regresi linier, kita memprediksi nilai pada variabel y yang didasari dari variabel x , yang nilai prediksi y di plot sebagai fungsi x membentuk garis lurus. Regresi linier mencari garis lurus terbaik yang melalui titik-titik yang disebut juga garis regresi. Yang dimaksud garis terbaik adalah garis yang meminimalisirkan jumlah kesalahan prediksi yang dikuadratkan (Lane et al.).



Gambar 2.24. Regresi Linier
(Lane et al.)

Persamaan garis regresi memiliki persamaan dalam bentuk (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011; DeCoursey, 2003; Harinaldi, 2005; Walpole et al., 2007):

$$\hat{y} = mx + b \quad (2.20)$$

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (2.21)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - m \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.22)$$

Dimana:

b = titik potong garis regresi pada sumbu y

m = *slope*/gradien garis regresi

2.8.1. Sum of square

Dalam regresi memiliki beberapa jenis jumlah kuadrat. Yaitu SSE atau *Sum of square Error* yang merupakan jumlah dari kuadrat *error* nilai y terhadap garis regresi. SST atau *Sum of square Total* yang merupakan jumlah kuadrat *error* nilai y terhadap nilai rata-rata y. dan SSR atau *Sum of square Regression* yang merupakan jumlah variasi dalam nilai pada model (Walpole et al., 2007). Terdapat pula SS_{xx} yaitu jumlah dari kuadrat variasi nilai x terhadap nilai rata-rata x (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011).

$$SS_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2.23)$$

$$SS_T = SS_{YY} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.24)$$

$$SS_R = SS_T - SS_E \quad (2.25)$$

$$SS_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2.26)$$

Dimana:

SS_R = *Regression Sum of square*

SS_E = *Sum of square Error*

$SS_T = SS_{YY}$ = *Sum of square Total corrected*

SS_{xx} = *Sum of square x*

y_i = nilai y sebenarnya

$\hat{y}_i$ = nilai y diprediksi

$\bar{y}$ = nilai y rata-rata

x_i = nilai x

$\bar{x}$ = nilai x rata-rata

2.8.2. Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (r^2) merupakan proporsi dari varians terjelaskan pada proporsi variasi terjelaskan (Lane et al.). koefisien determinasi merupakan perbandingan dari variasi terjelaskan dengan variasi total yang memiliki nilai berkisar antara 0 (tidak ada relasi) dan 1 (relasi sempurna) dengan persamaan (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011; Harinaldi, 2005)(Walpole et al., 2007):

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (2.27)$$

$$r^2 = \frac{b(\sum y) + m \sum xy - n(\bar{y})^2}{\sum(y)^2 - n(\bar{y})^2} \quad (2.28)$$

$$r^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = \frac{SSR}{SST} \quad (2.29)$$

Koefisien determinasi merupakan nilai proporsi dari variabilitas terjelaskan dengan model yang tepat. Apabila modelnya sangat tepat, maka residualnya semua nol, nilai $r^2=1$ (Walpole et al., 2007)

2.8.3. Standard Error

Dalam persamaan regresi, hubungan antar variabel bebas dan terikatnya atau derajat ketergantungannya sangat penting. Sebuah ukuran yang mengindikasikan derajat variasi sebaran data di sekitar garis regresi menunjukkan seberapa besar derajat keterikatan yang diperoleh dengan ukuran *standard error*. Dalam kata lain *standard error* estimasi adalah deviasi *standard* yang memberikan ukuran penyebaran di sekitar garis regresi

(Harinaldi, 2005). *Standard Error* atau *Standard Deviasi* dari y merupakan akar dari jumlah kuadrat *error* (SSE) dibagi dengan derajat kebebasannya. Nilai ini digunakan sebagai pembuatan *interval* terpercaya dan *interval* prediksinya (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011). *Standard Error* Estimasi mempunyai persamaan (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011; Harinaldi, 2005):

$$s_{x,y} = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum (y^2) - b(\sum y) - m(\sum xy)}{n-2}} \quad (2.30)$$

Dimana:

$S_{x,y}$ = *standard error*

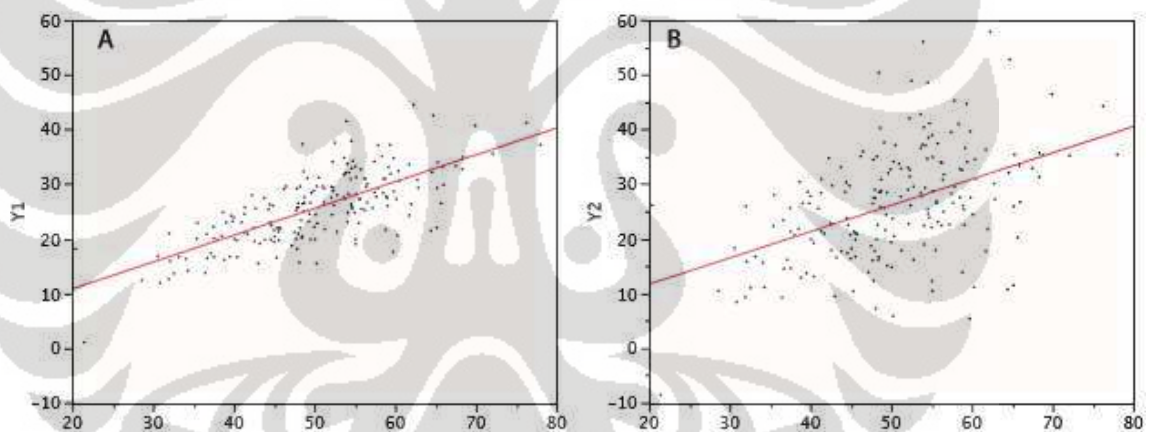
Y = nilai y sebenarnya

$\hat{y}$ = nilai y prediksi

b = titik potong garis regresi pada sumbu y

m = gradien garis regresi

n = jumlah pasangan data



Gambar 2.25. Perbandingan *Standard Error*
(Lane et al.)

Jika melihat perbandingan antara kedua grafik tersebut, terlihat bahwa nilai *standard error* dari grafik A lebih kecil jika dibandingkan dengan grafik B (Lane et al.)

Standard error merupakan kesalahan *standard* dari titik-titik dari garis, dan memperoleh kesalahan *standard* parameter lainnya seperti kemiringan garis yang paling sesuai (DeCoursey, 2003). *Standard error* estimasi merupakan ukuran keakuratan prediksi yang terkait erat dengan garis regresi dengan persamaan (Lane et al.):

$$\sigma_{est} = \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{N}} \quad (2.31)$$

Dimana:

σ_{est} = *standard error*

y = nilai y sebenarnya

y' = nilai y prediksi

N = jumlah pasangan data (apabila perhitungan menggunakan data dari sampel, maka penyebut menjadi N-2)

2.8.4. *Standard Deviasi Persamaan*

Pada sebuah regresi linier terdapat dua buah *standard deviasi* dari masing-masing komponen pembentuk persamaan regresinya. Yaitu *standard deviasi* dari kemiringan (*slope*) dan *standard deviasi* dari kenaikannya (*intercept*) yang menyatakan perhitungan *error* dari persamaan m dan b nya. *Standard deviasi* dari *slope* dan *intercept* memiliki persamaan (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011):

$$S_m = \sqrt{\frac{s_{y,x}^2}{SS_{xx}}} \quad (2.32)$$

$$95\% \text{ confidence interval of slope} = \hat{m} \pm t_{0.025, n-2} S_m \quad (2.33)$$

$$S_b = \sqrt{\frac{s_{y,x}^2 \sum_{i=1}^n x_i^2}{n SS_{xx}}} \quad (2.34)$$

$$95\% \text{ confidence interval of intercept} = \hat{b} \pm t_{0.025, n-2} S_b \quad (2.35)$$

2.8.5. *Interval*

Sebuah rentang kepercayaan sebesar 95% dapat digunakan untuk menghitung nilai *error* untuk parameter m dan b. ketika model persamaan digunakan untuk mengestimasi nilai y terhadap x terdapat dua buah batasan *error* yang paling sering digunakan (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011)

2.8.5.1 *Nilai y estimasi terbaik terhadap x*

Nilai y prediksi terbaik pada tiap titik akan berada pada nilai rata-rata dari nilai teramati yang memungkinkan. Varians dari yprediksi terdapat karena komplikasi nilai *slope* dan *intercept* yang nilainya tidak bergantung. Varians dari nilai rata-rata y pada xp memiliki nilai :

$$\text{Variance mean y at } x_p = s_{y,x}^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{SS_{xx}} \right) \quad (2.36)$$

Interval terpercaya yang paling sesuai untuk nilai rata-rata y pada xp didapat dari standar deviasi dari rata-rata dan distribusi t

Confidence interval (2.37)

$$= (\hat{m}x_p + \hat{b}) \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} S_{y,x} \left(\frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{SS_{xx}} \right)$$

Interval ini digunakan untuk garis *error* nilai y dari *least square*. Nilai garis kesalahan ini memiliki nilai paling sempit pada titik pusat regresi ($\bar{X}$, $\bar{Y}$) dan menyebar ke arah luar yang mengartikan ketidakpastian dalam *slope* membuat nilai di ujung rentang x memiliki nilai yang kurang pasti dibandingkan pusat

2.8.5.2 Nilai estimasi prediksi yang baru

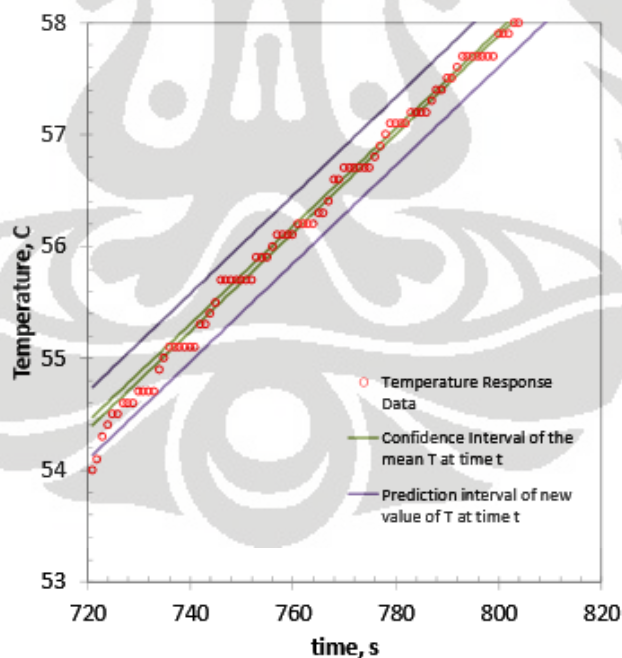
Nilai n digunakan dalam perhitungan *least square*. Semakin bertambah nilai n , maka nilai varians akan semakin menuju ke nol. Dan membuat semakin yakin nilai rata-ratanya berada pada x_p . nilai varians dari nilai baru yang di prediksi memiliki nilai

$$\text{Variance Predicted new value } y \text{ at } x_p = s_{y,x}^2 \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{SS_{xx}} \right) \quad (2.38)$$

Predict interval (2.39)

$$= (\hat{m}x_p + \hat{b}) \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-2} S_{y,x} \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{SS_{xx}} \right)$$

Pada *prediction interval* semakin bertambahnya nilai n , varians memiliki nilai yang menuju ke nilai $S_{y,x}$, namun pada *confidence interval*, semakin bertambahnya nilai n , varians memiliki nilai menuju ke nol



Gambar 2.26. Contoh *Confidence interval* dan *Prediction interval*
(D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011)

Confidence interval mengindikasikan seberapa yakin kita tahu nilai rata-rata y tiap nilai x , sedangkan *prediction new value interval* adalah nilai dari y diekspektasikan

akan tersebar dalam rentang tersebut. 95% dari data akan berada dalam *interval* nilai baru yang diprediksikan (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011)

2.9. Invers

Jika sebuah f adalah fungsi x dalam satuan D memiliki hasil y dalam rentang R , fungsi tersebut dapat di balik menjadi fungsi y dalam R yang menghasilkan nilai x dalam D yang ditandai dengan f^{-1} atau inverse dari f . jika nilai $y = f(x) = 2x$, maka $x = f^{-1}(y) = \frac{1}{2}y$. Namun, ada fungsi yang tidak memiliki nilai invers seperti $y = x^2$ dan $y = \sin(x)$ karena pada satu nilai y memiliki beberapa nilai x . sebuah fungsi untuk dapat di invers memiliki kriteria satu-satu, yaitu ketika $x_1 \neq x_2$, maka $f(x_1) \neq f(x_2)$.

Jika sebuah fungsi memiliki sifat monotonik, maka fungsi tersebut memiliki invers. Yang maksudnya adalah ketika terdapat nilai $x_1 < x_2$, maka $f(x_1) < f(x_2)$ atau $f(x_1) > f(x_2)$. Maka sudah dipastikan $f(x_1) \neq f(x_2)$. Kecuali kita memberikan informasi rentang x yang dimasukan. Untuk mempermudah melihat apakah sebuah fungsi memiliki invers, dapat dilihat dari turunan pertama dari fungsi tersebut untuk melihat apakah fungsi tersebut memiliki satu arah atau tidak.

Jika f memiliki invers f^{-1} , maka f^{-1} memiliki invers yang bernama f .

$$f(f^{-1}(x)) = x \text{ dan } f^{-1}(f(y)) = y \quad (2.40)$$

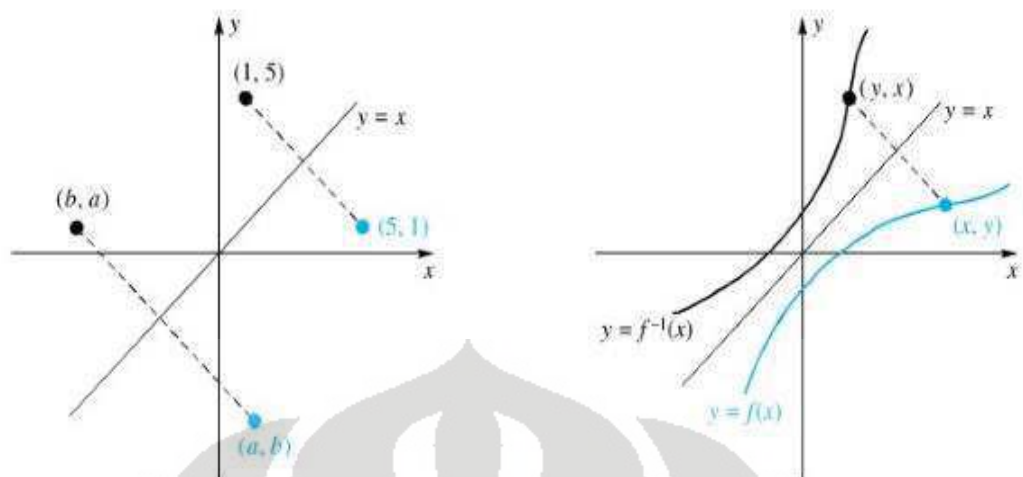
Ketika kita memasukan nilai x pada fungsi $f(x)$ dengan nilai x adalah $f^{-1}(x)$, maka akan mendapatkan persamaan

$$y = f(x) \rightarrow y = f(f^{-1}(x)) \rightarrow y = x \quad (2.41)$$

Hal inilah yang dapat dilakukan untuk merekayasa hasil *output* dari suatu sensor yang memiliki suatu persamaan terhadap nilai x nya, lalu direkayasa dengan memasukan fungsi invers dari persamaan tersebut kedalam persamaannya itu sendiri.

$$y = f(x) \leftrightarrow x = f^{-1}(y) \quad (2.42)$$

Sebuah invers merefleksikan titik (x,y) pada sebuah grafik dengan garis $y=x$ sebagai sebuah reflektornya menjadi (y,x) (Varberg, Purcell, & Rigdon, 2007)



Gambar 2.27. Invers pada Grafik
(Varberg et al., 2007)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Perancangan *Apparatus*

Untuk mendapatkan hasil yang akurat, maka perlu dibuat sebuah *apparatus* yang dapat mengukur kondisi lingkungan dengan akurat. *Apparatus* dirancang dengan landasan pengukuran kelembaban yang terdapat pada ASTM E337-84. Pada ASTM E337-84 terdapat berbagai macam parameter-parameter dari *apparatus* yang harus diperhatikan guna mendapatkan nilai kelembaban yang sesuai.

3.1.1. Termometer

Termometer yang digunakan untuk pengukuran kelembaban dengan *standard* ASTM E337-84 memiliki beberapa kriteria yaitu:

- Termometer memiliki *range* tidak lebih dari 0-80°C dengan *uncertainty* $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$
- Termometer elektrik diperbolehkan namun hanya untuk pengukuran temperatur bola kering
- Termometer dapat mengukur hingga 0.1°C

3.1.2. Temperatur bola basah

Pembungkus dari temperatur bola basah yang digunakan untuk pengukuran kelembaban memiliki kriteria sebagai berikut:

- Dilapisi dengan bahan katun yang memiliki massa jenis 1-1.2 g/m
- Menyelubungi *bulb* dari termometer dengan tidak terlalu erat
- Jarak ujung termometer dengan permukaan atas air adalah sebesar 5-25mm

3.1.3. Aliran udara

Aliran udara yang bergerak melalui sensor pengukuran diatur sedemikian rupa sehingga aliran udara yang melalui termometer bola basah dan termometer bola kering dengan kecepatan 3-10 m/s.

3.2. Pemilihan Komponen yang akan Digunakan

Setelah mempelajari persyaratan-persyaratan yang diatur dalam ASTM E337-84, dilakukan pemilihan komponen agar mendapatkan hasil perhitungan kelembaban

yang sesuai. Pemilihan komponen ini selain mempertimbangkan ASTM E337-84, dipertimbangkan pula dari segi kualitas dan harga dari komponen yang dipakai. Pertimbangan ini diperhitungkan dengan baik agar proses kalibrasi ini mendapatkan hasil yang optimal dan efisien.

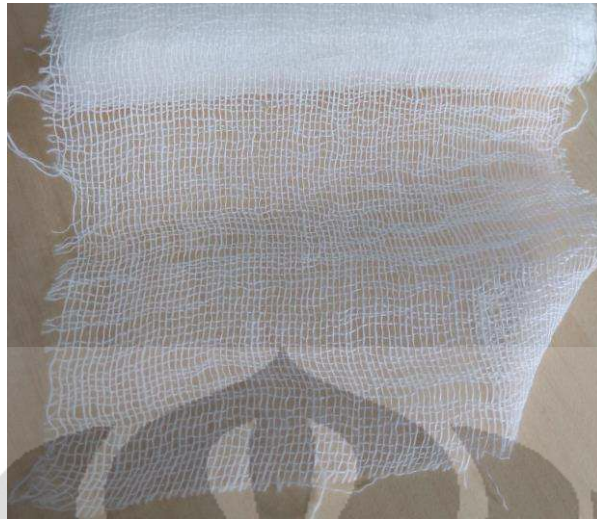
Setelah mempertimbangkan hal tersebut maka ditentukan komponen yang digunakan sebagai berikut:

1. Termometer yang digunakan adalah dua buah termometer berstandar ASTM dengan jenis termometer yang digunakan adalah ASTM 91C. Pemilihan termometer ini dilakukan dengan pertimbangan termometer ini memiliki ketelitian yang cukup baik yaitu 0.1°C , dengan rentang pengukuran $20\text{-}50^{\circ}\text{C}$ yang dapat mencakup temperatur Indonesia. Dikarenakan termometer ini sudah berstandar ASTM, maka nilai akurasi, presisi dan kepastian dari termometer ini sudah terjamin



Gambar 3.1. Termometer ASTM 91C

2. *Apparatus* yang digunakan menggunakan akrilik dengan ketebalan 3mm berbentuk balok dengan panjang sisi 200mm x 150mm x 250mm. pada permukaan akrilik tersebut diberikan 15 lubang pada masing-masing sisi samping, dan 20 lubang pada sisi belakang dengan diameter lubang sebesar 10mm. agar dapat dialiri angin dengan kecepatan yang diatur sesuai dengan ASTM.
3. Penggunaan pelapis pada termometer bola basah menggunakan kasa tipis yang dililitkan pada termometer.



Gambar 3.2. Kasa Sebagai Pelapis Termometer Bola Basah

4. Sensor kelembaban yang digunakan adalah empat buah sensor DHT22 yang dapat beroperasi pada kondisi suhu $-40-80^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $0-100\%$. Tingkat akurasi sebesar $\pm 2\% \text{RH}$ (maksimal 5%) dan $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. memiliki ketelitian $0.1\% \text{RH}$ dan 0.1°C . sensor DHT22 ini memiliki harga yang cukup murah yaitu berkisar Rp. 50.000,-.



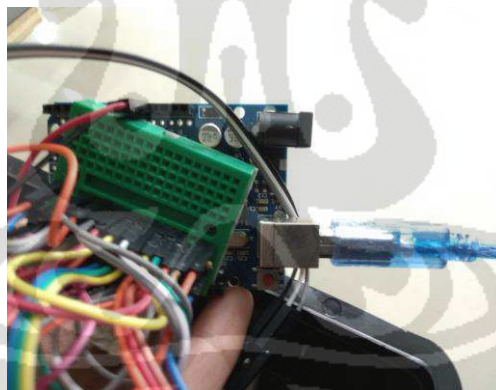
Gambar 3.3. Empat Buah Sensor DHT22

5. Mikrokontroler yang digunakan adalah *Arduino UNO* yang dapat dengan mudah didapatkan dengan spesifikasi yang memumpuni untuk menggunakan empat buah sensor DHT. Karena metode kalibrasi ini tidak membutuhkan mikrokontroler yang terlalu *advance*
6. *Standing clamp* yang dibuat sendiri dengan ketinggian dan jarak yang dapat diatur menggunakan clamp. *Standing clamp* dibuat dengan menyusun rangka yang diletakan pada wadah ember, lalu diberikan besi pejal berdiameter 8mm dengan panjang 1200mm, lalu ember tersebut diberikan adukan semen untuk mengikat kerangka yang

telah dibuat. *Standing clamp* ini nantinya akan berfungsi sebagai penjepit termometer ASTM 91C.



- Gambar 3.4. *Standing clamp* yang Digunakan untuk Memegang Thermometer
7. *Breadboard* 170 lubang atau ukuran sedang dikarenakan tidak membutuhkan banyak lubang untuk memparalelkan empat buah sensor. Maka dari itu dipilih 170 lubang agar ukurannya tidak terlalu besar

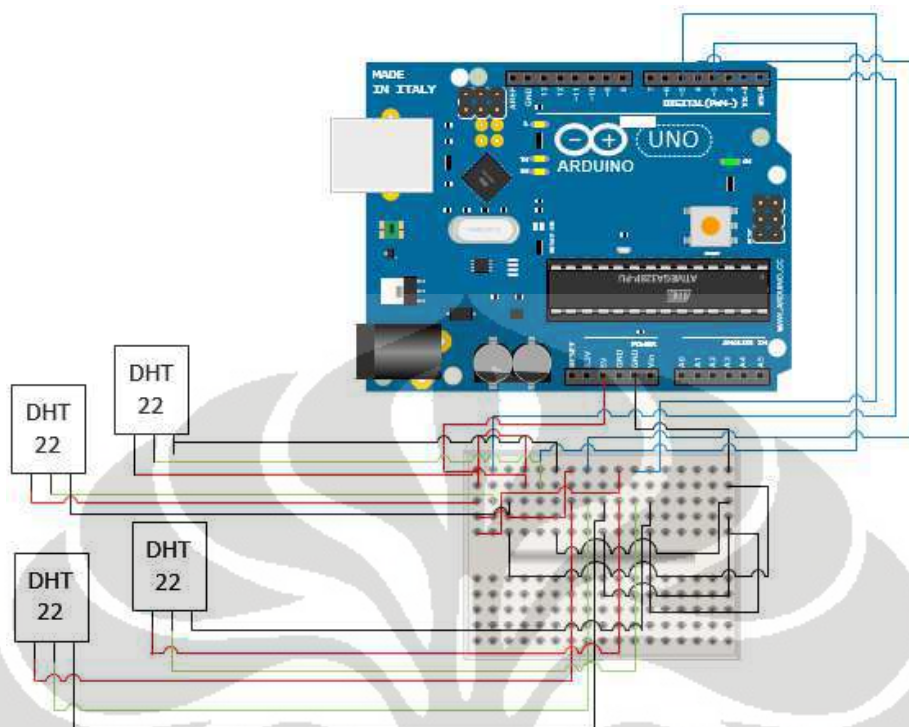


Gambar 3.5. *Breadboard* 170 Lubang

3.3. Perancangan rangkaian elektrik

Setelah dilakukan pemilihan komponen yang akan digunakan, dilakukan perancangan rangkaian elektrik yang akan digunakan untuk pengambilan data kelembaban menggunakan sensor yang akan dikalibrasi. Rangkaian elektrik yang digunakan, dirancang agar dapat digunakan langsung ketika ingin melakukan pengambilan data.

Rancangan rangkaian elektrik yang digunakan adalah seperti berikut:



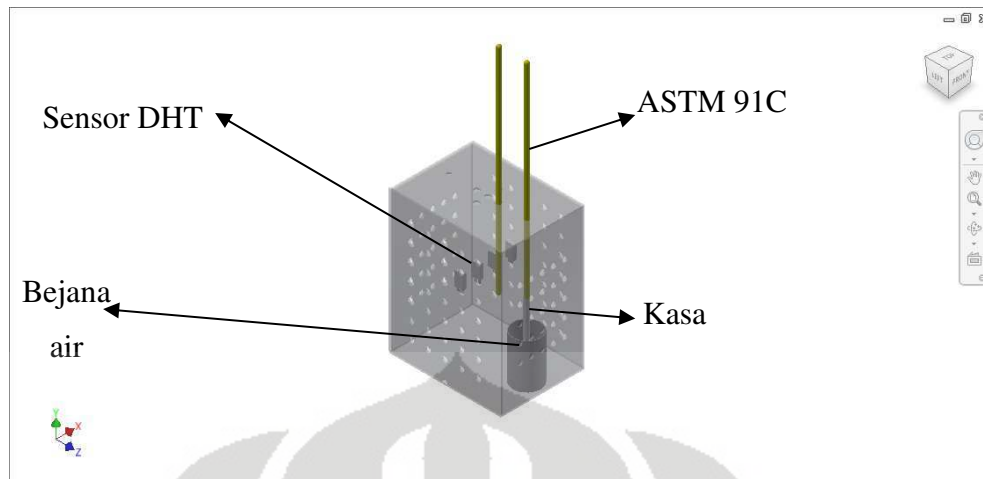
Gambar 3.6. Gambar Rangkaian Elektrik

Port yang digunakan pada *Arduino Uno* adalah *port digital input* untuk data dari *port* 2-5, lalu *port* tegangan 5V, dan *port Ground*. Masing-masing *port* 5V dengan *port* Ground di parallel agar keempat DHT22 mendapatkan *port* tersebut dengan memparalelkannya di *breadboard*. Lalu setelah rangkaian selesai, dilakukan pengujian untuk memeriksa apakah keempat sensor berjalan dengan baik dengan menggunakan rangkaian elektrik yang dibuat.

3.4. Perakitan *apparatus*

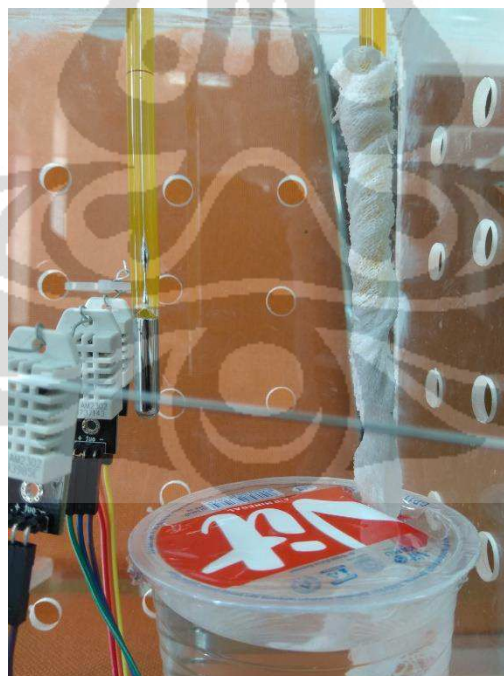
Setelah mendesain *apparatus*, lalu melakukan pemilihan komponen yang akan digunakan, lalu merancang dan merangkai rangkaian elektrik dari sensor DHT yang akan dikalibrasi, langkah selanjutnya adalah dengan merakit *apparatus* sesuai dengan desain yang sudah dibuat.

Peletakan empat buah sensor DHT berada di 10cm dari permukaan atas kotak akrilik dan disusun segaris lurus horizontal menggunakan sebuah kawat besi berdiameter 2mm. jarak antar masing-masing sensor DHT adalah sekitar 25mm dengan alasan agar sensor tersebut mendapatkan udara yang merata pada tiap sensornya.



Gambar 3.7. Gambar Pengaturan *Apparatus*

Disamping sensor DHT diletakan termometer udara kering dan termometer udara basah dengan ketinggian yang sejajar dengan sensor DHT22. Termometer tersebut digantung menggunakan *Standing clamp* pada bagian atas. Lalu diberikan aliran udara dengan menggunakan kipas dengan arah laluan dari DHT22, lalu temperatur udara kering, lalu temperatur udara basah agar air yang digunakan untuk membasahkan kasa tidak mempengaruhi nilai kelembaban yang terbaca oleh sensor dan juga tidak melembabkan termometer bola kering yang tidak diperbolehkan terdapat efek evaporasi.



Gambar 3.8. Peletakan Sensor DHT22 Seajar dengan *Bulb Thermometer*

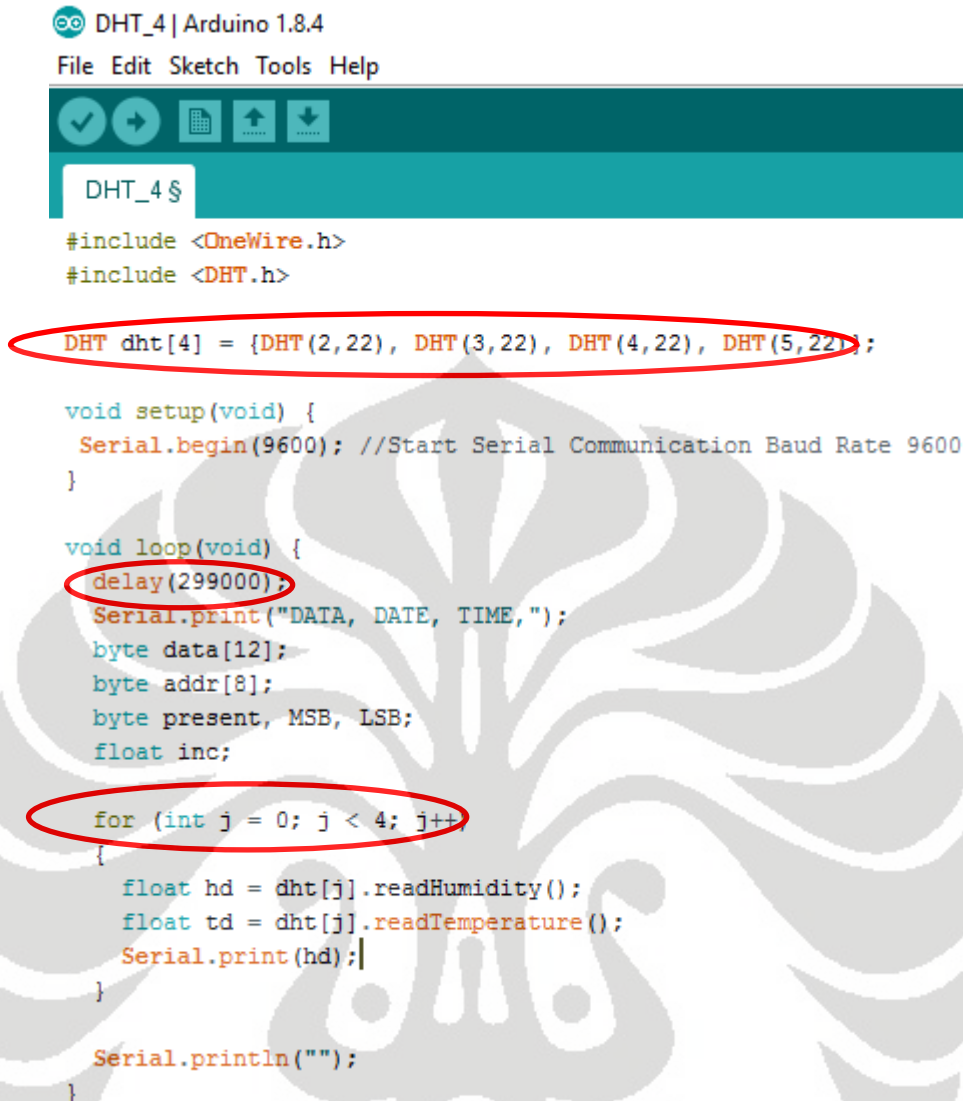
Sensor DHT yang sudah dirakit rangkaiannya, disambungkan ke *Arduino* Uno dengan kabel jumper sepanjang 40cm agar mikrokontroler *Arduino* dapat diletakan diluar kotak akrilik agar *Arduino* yang digunakan diletakan diluar *apparatus*. Hal ini mencegah terjadinya air tumpah dan mengenai *Arduino*.

3.5. Pembuatan koding awal

Setelah *apparatus* dirakit dan siap untuk melakukan pengambilan data, langkah selanjutnya adalah membuat koding yang akan diunggah ke mikrokontroler. Kodingan yang digunakan tidak sepenuhnya dibuat sendiri dikarenakan *Arduino* merupakan sebuah mikrokontroler yang terbuka untuk semua dan sudah banyak forum-forum yang memberikan koding dan *library* secara bebas untuk semua pengguna *Arduino*. Hal inilah yang membuat penggunaan *Arduino* menjadi lebih mudah dan sangat membantu dalam pengambilan data berbasis *Arduino*.

Setelah didapatkan kodingan untuk menjalankan DHT22, dilakukan perubahan sedikit untuk menyesuaikan dengan metode yang digunakan. Dilakukan perubahan dengan merubah parameter waktu pengambilan data yang dilakukan dengan merubah nilai delay pengambilan data menjadi 299000ms dikarenakan pengambilan data yang dilakukan untuk proses kalibrasi dilakukan setiap lima menit. Selain itu diberikan tambahan untuk dapat melakukan pembacaan empat buah sensor DHT secara bersamaan dalam satu waktu yang dicolok pada *port data digital* 2-5. Setelah itu dilakukan pengujian pada kodingan yang telah dibuat untuk melihat apakah kodingan berjalan sesuai dengan yang diinginkan dan sudah dapat terkoneksi pada *parallax* yang digunakan untuk mempermudah penyimpanan data yang akan digunakan.

Parallax yang digunakan merupakan *parallax* yang biasa digunakan oleh tim inkubator Universitas Indonesia untuk melakukan pengambilan data riset yang sudah sangat mudah digunakan karena hanya tinggal menentukan *port* dan menekan tombol *connect* saja



```

DHT_4 | Arduino 1.8.4
File Edit Sketch Tools Help

DHT_4 $
#include <OneWire.h>
#include <DHT.h>

DHT dht[4] = {DHT(2,22), DHT(3,22), DHT(4,22), DHT(5,22)};

void setup(void) {
  Serial.begin(9600); //Start Serial Communication Baud Rate 9600
}

void loop(void) {
  delay(299000);
  Serial.print("DATA, DATE, TIME,");
  byte data[12];
  byte addr[8];
  byte present, MSB, LSB;
  float inc;

  for (int j = 0; j < 4; j++)
  {
    float hd = dht[j].readHumidity();
    float td = dht[j].readTemperature();
    Serial.print(hd);
  }

  Serial.println("");
}

```

Gambar 3.9. Gambar Kodingan yang Digunakan Untuk Pengambilan Data

3.6. Pengambilan data

Pengambilan data dilakukan dengan metode pengukuran kelembaban sesuai dengan ASTM E337-84 untuk pengukuran nilai kelembaban yang sebenarnya, lalu dilakukan pengambilan data juga dengan menggunakan sensor DHT22 yang akan di kalibrasi berdasarkan pengukuran kelembaban menggunakan metode ASTM.

3.6.1. Lokasi

Pada proses pengambilan data untuk kalibrasi, untuk mendapatkan kondisi lingkungan yang mencakup wilayah iklim tropis, dilakukan pengambilan data di beberapa tempat yang dapat merepresentasikan wilayah Indonesia dikarenakan tujuan dari kalibrasi

sensor ini adalah untuk mengkalibrasi sensor di wilayah Indonesia. Oleh karena itu dilakukan pengambilan data di beberapa tempat yaitu:

1. Lorong Gedung MRC lantai 6 departemen teknik mesin fakultas teknik universitas Indonesia. Dengan tujuan mendapatkan kondisi lingkungan tanpa menggunakan *Air Conditioner* dengan kondisi cukup lembab dengan suhu berkisar antara 28-34°C
2. Di dalam ruangan laboratorium heat transfer departemen teknik mesin fakultas teknik universitas Indonesia Dengan tujuan mendapatkan kondisi lingkungan menggunakan *Air Conditioner* dengan kondisi cukup lembab dengan suhu berkisar antara 24-29°C
3. Ruangan dosen lantai 2 departemen teknik mesin fakultas teknik universitas Indonesia. Dengan tujuan mendapatkan kondisi lingkungan menggunakan *Air Conditioner* dengan kondisi kering dengan suhu berkisar antara 24-26°C
4. Bukit cikahe resort, lembang, jawa barat, Indonesia. Dengan tujuan mendapatkan kondisi lingkungan tanpa menggunakan *Air Conditioner* dengan kondisi lembab dengan suhu berkisar antara 20-24°C

3.6.2. Persiapan pengambilan data

Apparatus diletakan diatas kursi dengan tujuan agar kelembaban yang terukur merupakan kelembaban ruang yang tidak terpengaruh karena dekat dengan lantai maupun langit-langit. Letak *apparatus* berada dalam ruangan yang *apparatus* itu sendiri tidak terpapar langsung dengan sinar matahari atau apapun yang dapat menyebabkan radiasi ke termometer dikarenakan persyaratan termometer bola kering adalah tidak terpapar radiasi maupun evaporasi.

Apparatus disusun dan dirangkai sesuai dengan keadaan yang telah di desain pada tahapan sebelumnya guna mendapatkan nilai yang optimal. Pertama-tama dengan menggantungkan kawat yang menahan empat buah sensor DHT22 pada bagian pertengahan *apparatus*. Lalu kedua buah termometer dijepit pada clamp dengan diberikan karet agar clamp yang digunakan tidak merusak atau menekan termometer terlalu keras. Selanjutnya disiapkan air dalam bejana yang telah disiapkan untuk membasahi kasa yang melapisi temperatur bola basah. Setelah itu *apparatus* disiapkan dan diletakan pada posisinya kembali. Lalu dililitkan kasa dengan tidak terlalu erat agar terjadi evaporasi ketika diberikan udara berkecepatan. Kasa tersebut dicelupkan dalam bejana air untuk

menjaga kasa tetap basah selama proses pengambilan data karena akan terjadi peristiwa evaporasi pada kasa tersebut saat diberikan udara berkecepatan.

3.6.3. Pengambilan data

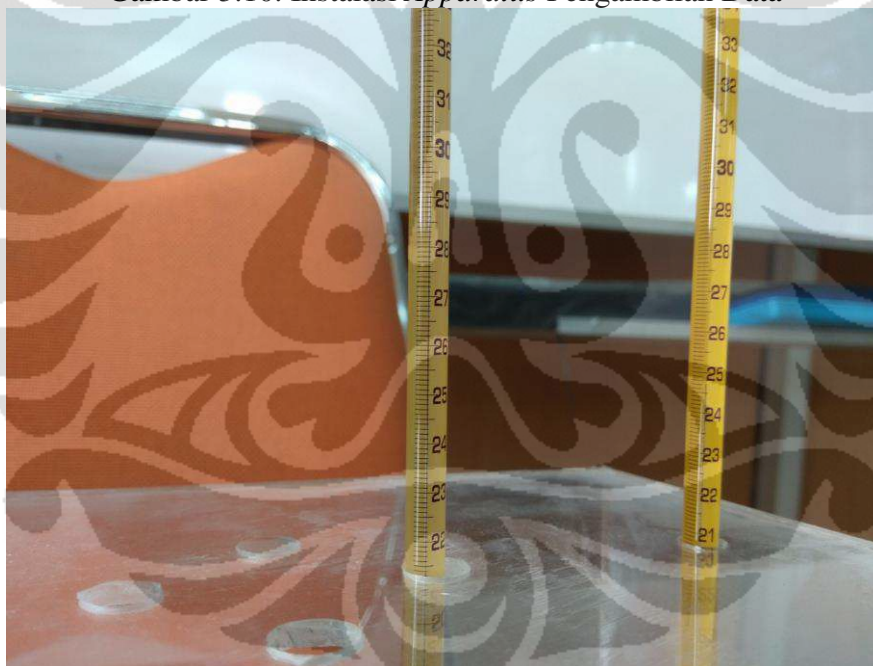
Nyalakan kipas yang sudah disiapkan dengan menghadap ke *apparatus*. Setelah kipas dinyalakan, colok mikrokontroler agar terhubung ke PC. Setelah terhubung ke PC, unggah koding yang telah dibuat tadi ke mikrokontroler yang sudah terhubung ke PC. Setelah itu buka makro excel untuk penyimpanan data yang telah didapatkan nanti lalu *connect* excel tersebut dengan mikrokontroler. Setelah itu tunggu beberapa saat agar termometer bola basah mencapai nilai konstan yang mengindikasikan nilai temperatur bola basah sebenarnya dan sudah tidak sedang menuju nilai pembacaannya.

Setelah dilihat bahwa temperatur bola basah mendapatkan nilai yang benar, dilakukan pengambilan data untuk pengkalibrasian. Pengambilan data dilakukan setiap lima menit sekali baik untuk pengukuran manual maupun pengukuran menggunakan sensor DHT22 dengan waktu yang bersamaan agar memberikan waktu untuk termometer bola basah mengikuti kondisi lingkungan apabila kondisi lingkungan tersebut berubah. Setelah itu data temperatur bola basah, temperatur bola kering serta kelembaban relatif dari sensor dicatat.

Selanjutnya dari data nilai temperatur bola kering dan temperatur bola basah yang didapatkan dari pengambilan data secara manual dengan memperhatikan nilai temperatur tersebut, dilihat ke grafik psikrometrik untuk mendapatkan nilai dari kelembaban yang didapatkan dengan prinsip pengukuran kelembaban dengan metode ASTM. Data-data tersebut kemudian direkap menjadi satu file excel agar mudah untuk mengolah selanjutnya.



Gambar 3.10. Instalasi *Apparatus* Pengambilan Data



Gambar 3.11. Contoh Pengambilan Data

3.7. Perhitungan *Error*

Setelah mendapatkan data-data yang didapatkan yaitu nilai kelembaban dari sensor terhadap waktu, dan nilai TDB dan TWB dari metode ASTM terhadap waktu yang akan diubah menjadi nilai RH, dilakukan perbandingan antara nilai kelembaban dari sensor terhadap nilai kelembaban dari metode ASTM dengan satuan pada titik waktu

Universitas Indonesia

yang bersamaan. Lalu dilihat juga delta atau kesalahan dari data kelembaban yang didapatkan pada sensor dan pada metode ASTM. Lalu dihitung nilai *error* dari masing-masing titik pengukuran dan dari masing-masing sensor terhadap nilai RH ASTM dengan menggunakan persamaan 2.12 untuk melihat nilai *relative error* dari sensor. Setelah mendapatkan data *error* dari sensor, dibuat grafik hubungan antara nilai kelembaban pada sensor DHT22 (sumbu y) terhadap nilai kelembaban dari metode ASTM (sumbu x).

3.8. Pembuatan persamaan matematika untuk kalibrasi

Dari seluruh data perbandingan data kelembaban sensor terhadap ASTM, keempat data dari empat buah sensor yang digunakan digabungkan menjadi satu buah perkumpulan data. Setelah data-data tersebut digabungkan, dicari garis regresi yang terbentuk dari kumpulan data tersebut. Garis regresi yang dibentuk adalah garis regresi linier. Setelah mendapatkan garis regresi liniernya, dicari persamaan dari garis tersebut yang berbentuk persamaan $y=mx+b$ dengan menggunakan persamaan 2.19 sampai dengan 2.21 untuk mendapatkan koefisien pada m dan b.

Setelah mendapatkan persamaan regresinya, dianalisa apakah persamaan ini dapat dipercaya atau tidak dengan melihat *standard* deviasi dari koefisien m dan b dari persamaan regresi tersebut dengan menggunakan persamaan 2.31 dan 2.33, lalu melihat *interval* kepercayaan dan *standard error*nya untuk memastikan persamaan ini dapat dipercaya dengan menggunakan persamaan 2.29, 2.36 dan 2.38.

Pengujian untuk mempercayai persamaan yang telah didapatkan dengan *standard* deviasi dari koefisien persamaannya akan menghasilkan nilai keraguan pada persamaan tersebut. Apabila dilihat nilai keraguan tersebut masih dapat ditoleransi, maka kita dapat mempercayai persamaan tersebut. Dari nilai keraguan persamaan tersebut dapat dilihat *interval* kepercayaan yang dihasilkan. *Interval* tersebut akan memiliki rentang yang dapat menjadi tolak ukur untuk mempercayai persamaan tersebut. Serta didapatkan juga *prediction interval* untuk melihat seberapa persebaran data dari sensor tersebut

Dari persamaan tersebut terlihat hubungan sumbu y terhadap sumbu x. jika dari persamaan tersebut sudah dapat kita percaya, maka setelah itu kita mencari persamaan untuk merekayasa nilai *output* dari sensor agar hasilnya nanti mendekati nilai kelembaban yang ditunjukkan oleh nilai kelembaban ASTM yang memiliki persamaan $y=x$. untuk itu

kita melakukan invers dari persamaan $y=mx+b$ yang didapatkan yaitu menjadi $x=(y-b)/m$ agar nilai *output* keluaran dari nilai sensor kelembaban menuju ke nilai x atau nilai kelembaban dari metode ASTM. Sehingga nanti nilai x menjadi y' atau nilai yang sudah direkayasa dan nilai y menjadi x' atau nilai kelembaban sensor yang masih mentah atau belum di kalibrasi. Sehingga yang terjadi adalah sebuah sensor yang memiliki persamaan regresi linier $y=mx+b$ terhadap ASTM yang telah didapatkan persamaan sensor tersebut, lalu kemudian nilai terbacanya dari sensor tersebut dimasukan kedalam persamaan inversnya karena nilai terbacanya memiliki persamaan $y=mx+b$, sehingga mendapatkan nilai yang mendekati persamaan $y=x$ pada hasil yang keluar.

$$y' = \frac{x' - b}{m}$$

$$y' = \frac{(mx + b) - b}{m}$$

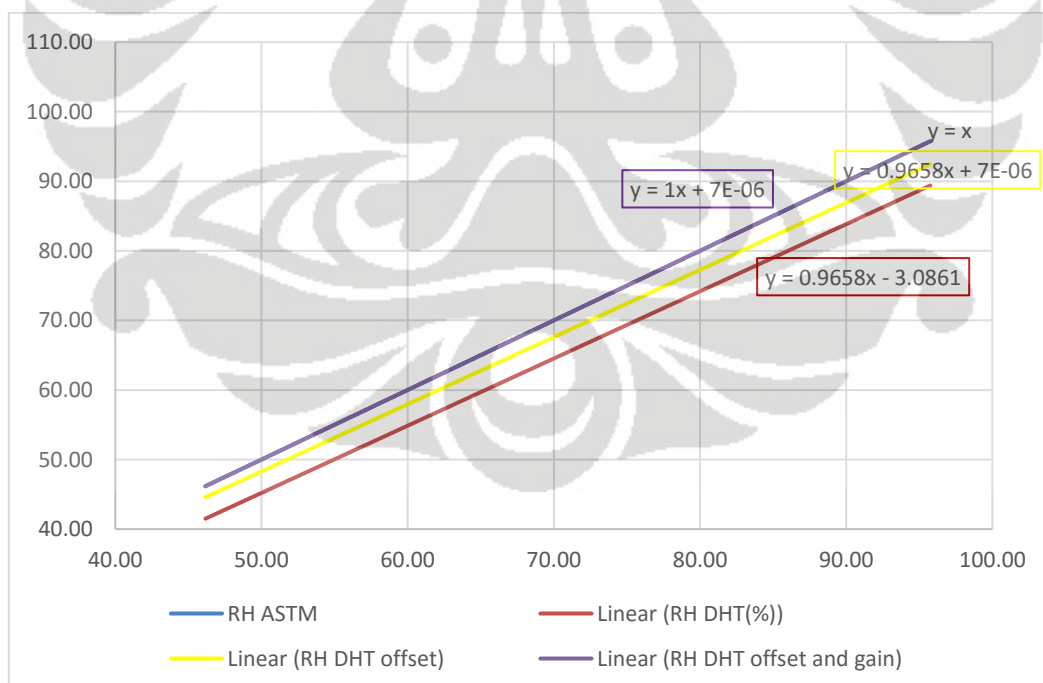
$$y' = x$$
(3.1)

Atau dapat di ilustrasikan juga menjadi seperti berikut:

$$RH_{sensor} = (\pm m RH_{ASTM}) \pm b$$

$$RH_{ASTM} = \frac{RH_{sensor} \pm b}{\pm m}$$

$$RH_{kalibrasi} = RH_{ASTM} = \frac{RH_{sensor} \pm b}{\pm m}$$
(3.2)



Gambar 3.12. Grafik Kalibrasi dari Persamaan

Dari grafik diatas menjelaskan yang terjadi dari kalibrasi yang dilakukan. Dengan memasukan nilai *output* sensor kedalam persamaan kalibrasi tersebut, sensor akan mengalami kalibrasi *zero* lalu kalibrasi *gain*. Pertama-tama sensor memiliki nilai dengan garis regresi berwarna oranye, lalu sensor dimasukan kedalam persamanaan 3.1. sehingga sensor terlebih dahulu mengalami perubahan secara penjumlahan yang mengakibatkan nilai yang terbaca naik atau turun sesuai dengan nilai b. sehingga didapatkan garis regresi berwarna kuning. Setelah itu nilai yang telah dilakukan penjumlahan dengan b, dilakukan pembagian dengan nilai m sehingga yang terjadi adalah gradient garis regresi berwarna oranye berubah menjadi garis yang berwarna ungu. Hal inilah yang terjadi dari persamaan kalibrasi yang telah didapatkan sehingga diharapkan sensor tersebut sudah memiliki nilai keluaran yang mendekati garis $y=x$.

```
#include <OneWire.h>
#include <DHT.h>

DHT dht[5] = {DHT(2,22), DHT(3,22), DHT(4,22), DHT(5,22)};

void setup(void) {
  Serial.begin(9600); //Start Serial Communication Baud Rate 9600
}

void loop(void) {
  delay(299000);
  Serial.print("DATA, DATE, TIME,");
  byte data[12];
  byte addr[8];
  byte present, MSB, LSB;
  float inc;

  for (int j = 0; j < 5; j++)
  {
    float hd = dht[j].readHumidity();
    Serial.print((hd+3.0861)/0.9658);
    Serial.print(",");
  }

  Serial.println("");
}
```

Gambar 3.13. Gambar Kodingan yang Digunakan Setelah Kalibrasi

Setelah persamaan tersebut didapatkan, dilakukan perubahan atau perekayasaan pada kondingan untuk merubah sedemikian rupa sehingga nilai yang keluar dari pembacaan sensor adalah nilai yang sudah terkalibrasi. Pemasukan persamaan dimasukan pada perintah “*serial print*” pada nilai kelembaban sensor tersebut. Hd merupakan nilai *output* sensor kelembaban yang nilainya belum terkalibrasi. Sehingga kita dapat

memasukan persamaan tersebut kedalam *serial print* untuk nilai h_d tersebut. Dengan h_d sebagai nilai x pada persamaan 3.1 tersebut. Dengan demikian telah dilakukan kalibrasi dari *zero*, dan *span* dari garis regresi tersebut.

3.9. Pengambilan data setelah kalibrasi

Setelah dilakukan perekayasaan pada kodingan, dilakukan pengambilan data untuk melihat apakah nilai dari kelembaban sensor yang telah dikalibrasi dengan melakukan perekayasaan pada *output* telah menghasilkan nilai yang mendekati nilai kelembaban sesuai dengan metode ASTM atau belum. Metode pengambilan data pada saat pengambilan data setelah kalibrasi dilakukan sama dengan metode pengambilan data sebelum kalibrasi. Yang membedakan hanyalah pada perekayasaan kodingan yang digunakan.

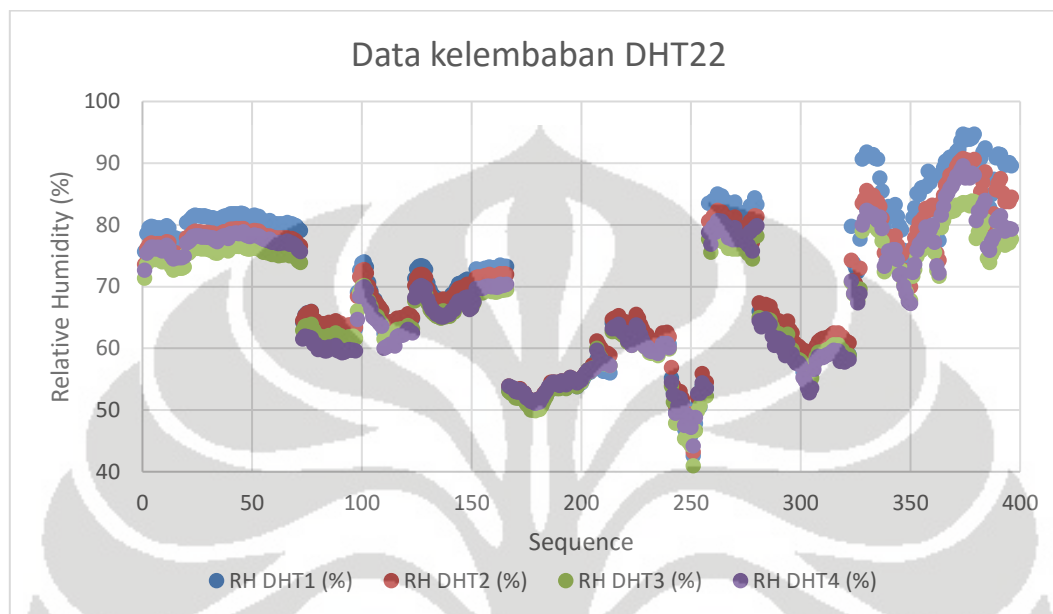
3.10. Perhitungan *error* setelah kalibrasi dan membandingkan dengan hasil sebelum kalibrasi

Setelah didapatkan dua buah data yaitu data sebelum sensor tersebut dikalibrasi dan data setelah sensor dikalibrasi, dilakukan perbandingan dari nilai kelembabannya. Perbandingan berupa nilai *error* dari pengambilan data sensor terhadap pengambilan data menggunakan metode ASTM sebelum dan setelah kalibrasi untuk melihat tingkat akurasi dari sensor tersebut baik sebelum maupun sesudah sensor tersebut dikalibrasi. Setelah itu dibandingkan juga *standard error* dan *prediction intervalnya* apakah sudah membaik atau belum untuk melihat apakah tingkat presisi dari sensor ini sudah lebih baik setelah dilakukannya kalibrasi.

BAB 4

PEMBAHASAN

4.1. Hasil pengambilan data sebelum kalibrasi



Gambar 4.1. Grafik Hasil Data Kelembaban dari Sensor DHT22 Sebelum Kalibrasi

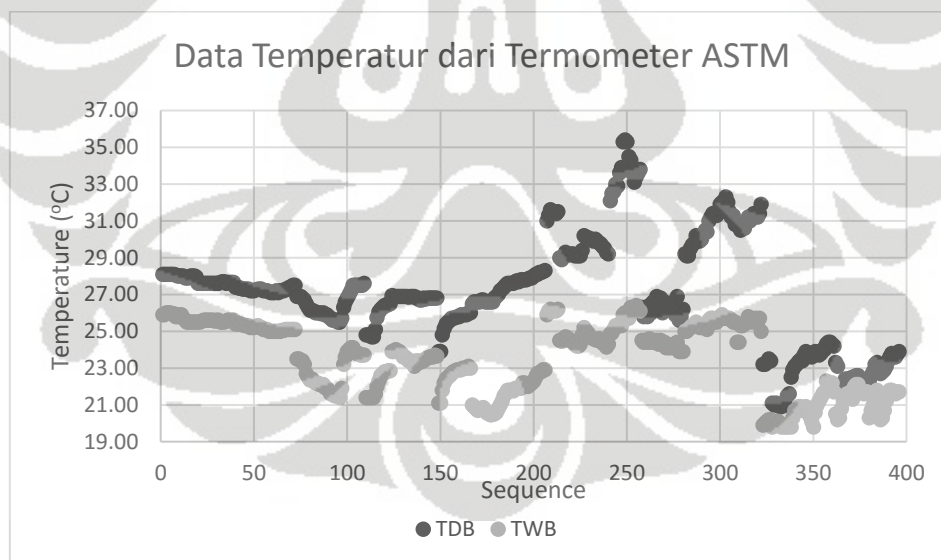
Berikut merupakan grafik dari pengambilan nilai kelembaban menggunakan sensor DHT22. Data tersebut merupakan data dari pengambilan beberapa kali pengambilan. Pengambilan data dilakukan dengan jeda antar pengambilan data selama lima menit. Hal ini dilakukan agar dilakukan penyesuaian alat ukur dengan kondisi lingkungannya saat itu karena alat ukur yang digunakan menggunakan dua buah alat ukur yang memiliki jenis yang berbeda yaitu *analog* dan *digital*. Pada alat ukur *digital*, nilai *output* yang didapatkan akan langsung pada kondisi yang terbaca saat itu juga, namun untuk alat ukur *analog* memiliki waktu untuk alat ukur tersebut terjadi perubahan untuk pembacaan kondisi yang diukur.

Rentang yang didapatkan dari hasil pengambilan data sebelum kalibrasi adalah nilai kelembaban relatif dari 40% sampai dengan 94%. Yang mana rentang tersebut sudah mencakup nilai rentang rata-rata dari kelembaban di Indonesia dan juga rentang kelembaban pada kabin inkubator (Ariawan et al., 2015; Aritonang et al., 2016; *Data Kelembaban Udara Di DKI Jakarta Menurut Bulan Tahun 2014, 2016*; Delanaud et al., 2016; Ellis, 2005; A. Lyon, 2004) sehingga dapat dinyatakan rentang nilai kelembaban

yang didapatkan sudah merepresentasikan nilai kelembaban yang sebagaimana kelak sensor ini akan digunakan.

Dari hasil pengambilan data tersebut terlihat bahwa nilai kelembaban dari masing-masing sensor DHT22 ini memiliki nilai yang berbeda satu dengan lainnya. Hal ini menunjukkan sensor ini memiliki tingkat presisi yang kurang baik karena mendapatkan nilai yang cukup signifikan berbeda. Jika kita lihat dari nilai *error* sensor DHT22 ini terhadap masing-masing DHT22 ini untuk melihat seberapa persebaran yang dimiliki oleh keempat sensor ini. Didapatkan bahwa rentang penyebaran terkecil adalah 0.173%RH. Namun rentang terbesar dari selisih antar sensor ini adalah sebesar 9.99%RH. Hal ini menandakan sensor ini memiliki *error* pada masing-masing sensor ini dengan nilai yang cukup besar atau dapat dikatakan sensor ini kurang presisi.

Karena memang nilai kelembaban sangatlah sensitif dan tidak dapat dipertahankan atau diatur nilainya sesuai yang diinginkan pada metode ini. Untuk itu penggunaan *apparatus* didesain agar kondisi lingkungan didalam aparatus tidak mengalami perubahan kondisi yang sangat drastis akibat adanya pergerakan atau perubahan kondisi lingkungan sehingga termometer ASTM 91C dapat mengikuti perubahan yang terjadi pada kondisi lingkungannya.



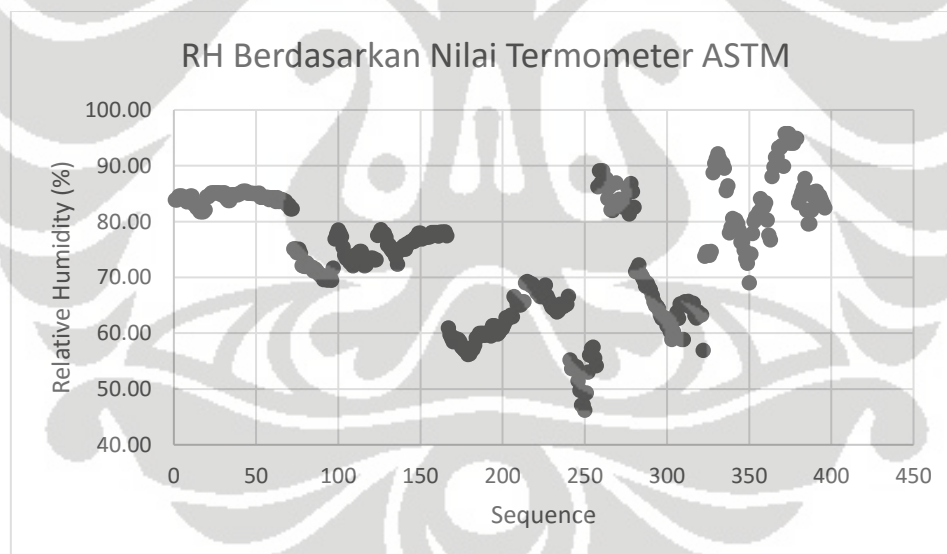
Gambar 4.2. Grafik Data Temperature dari Termometer ASTM

Berikut merupakan hasil pengambilan data temperatur bola basah dan temperatur bola kering pada tiap-tiap pengambilan. Dari data temperatur bola kering atau *Temperature dry bulb*(TDB) yang didapat, rentang temperatur udara yang didapat adalah berkisar temperatur 20-35.3°C. Rentang yang didapatkan tersebut sudah

merepresentasikan nilai temperatur udara di Jakarta dan inkubator bayi (Delanaud et al., 2017; Karyono, 2000; Maru & Ahmad, 2014; Nasional, 2014-2015) dan sudah mendapatkan batas bawah dari temperatur udara di Indonesia (Ariawan et al., 2015; Aritonang et al., 2016). Setelah nilai TDB dan TWB didapatkan, nilai-nilai tersebut diolah agar mendapatkan nilai kelembaban (RH) dengan melihat ke diagram psikrometrik. Sehingga mendapatkan hasil berikut:

Tabel 4.1. Tabel Perhitungan Nilai RH dari TWB dan TDB

<i>sequence</i>	<i>TDB</i>	<i>TWB</i>	<i>RH</i> <i>ASTM</i>
1	28.10	25.90	83.89
2	28.10	25.90	83.89
3	28.10	26.00	84.60
4	28.10	26.00	84.60
5	28.10	26.00	84.60
6	28.10	25.95	84.24
396	23.9	21.7	82.43



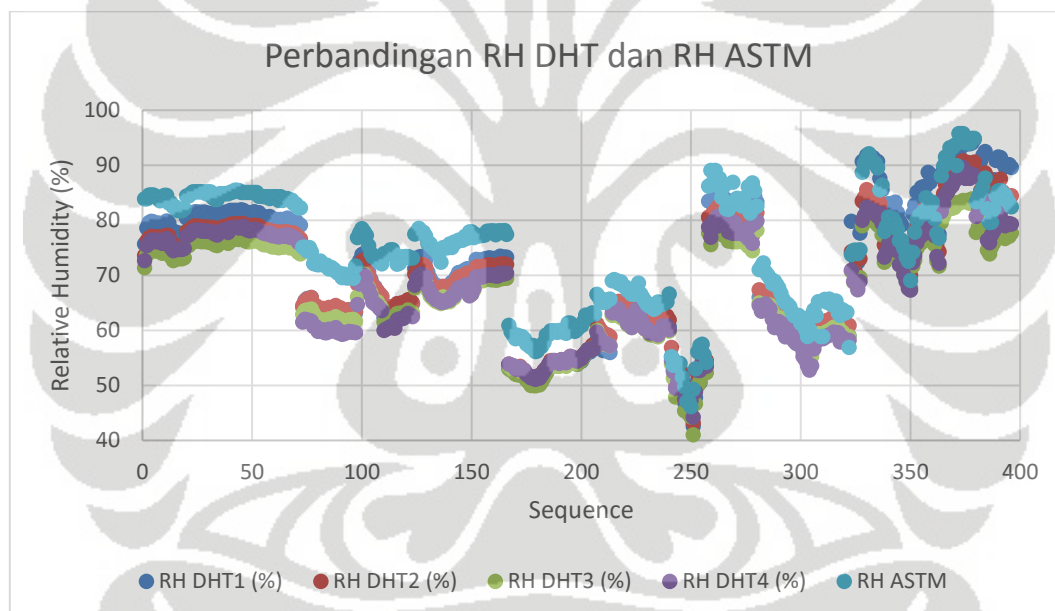
Gambar 4.3. Grafik Nilai RH dari Perhitungan Psikrometrik Chart

Berikut adalah nilai kelembaban yang didapatkan dari pengolahan data TDB dan TWB pada tiap pengukuran. Nilai rentang kelembaban yang didapatkan oleh metode pengukuran kelembaban prinsip ASTM E337-84 adalah berkisar antara 46% sampai dengan 96%. Nilai kelembaban inilah yang nantinya akan menjadi acuan untuk mengkalibrasi nilai kelembaban yang didapatkan dari sensor DHT22. Rentang nilai

kelembaban yang didapatkan dari prinsip pengukuran kelembaban dengan ASTM E337-84 pun sudah merepresentasikan nilai kelembaban di Indonesia dan kabin inkubator (Ariawan et al., 2015; Aritonang et al., 2016; *Data Kelembaban Udara Di DKI Jakarta Menurut Bulan Tahun 2014, 2016*; Delanaud et al., 2016; Ellis, 2005; A. Lyon, 2004).

Dapat dilihat dari grafik tersebut bahwa nilai kelembaban memang sangat sensitif. Hal tersebut terlihat dari nilai kelembaban yang tidak pernah konstan dan selalu berubah-ubah baik secara halus maupun drastis. Maka dari itu pengambilan data dilakukan tiap lima menit. Oleh karena itu pengambilan data kelembaban sangatlah sensitif dan harus dilakukan dengan cara yang benar.

4.2. Perhitungan Error



Gambar 4.4. Grafik Perbandingan RH DHT22 dan RH ASTM

Grafik tersebut merupakan perbandingan nilai kelembaban pada sensor DHT22 dengan nilai kelembaban pada metode ASTM. Jika dibandingkan kelembaban yang didapatkan dari sensor DHT22 dengan nilai kelembaban yang didapatkan dari metode ASTM E337-84, terlihat bahwa nilai kelembaban yang didapatkan dari DHT22 relatif berada dibawah nilai kelembaban dari metode ASTM E337-84. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik sensor DHT22 ini berbeda jika digunakan di Indonesia karena memiliki kondisi lingkungan yang berbeda dari kondisi lingkungan dimana sensor ini dibuat yang disebut juga *environmental error* (Mechanical Measurement and Metrology;

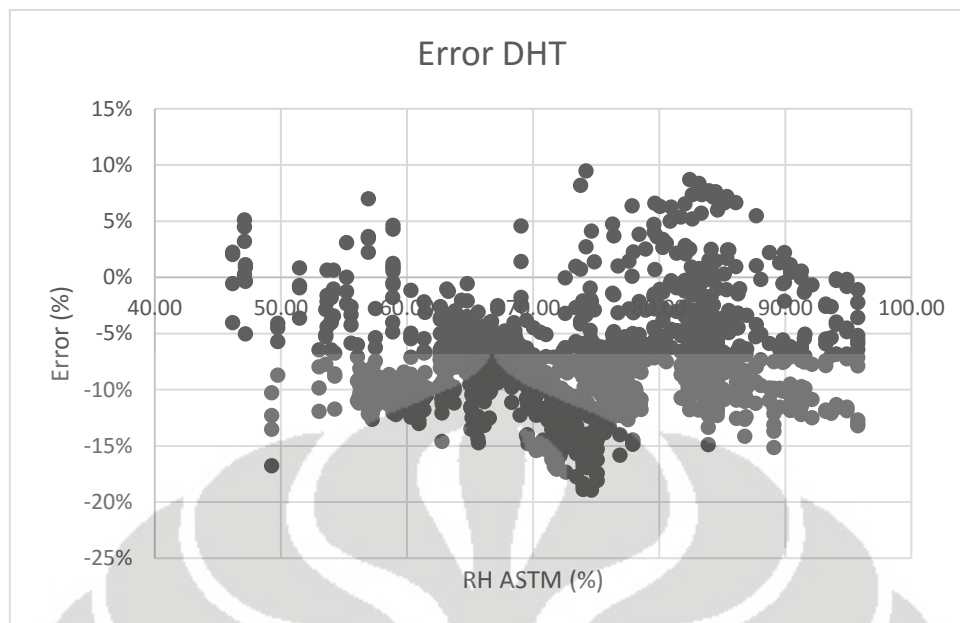
Universitas Indonesia

Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Nilai error yang terjadi pada DHT22 ini terjadi karena cara kerja dari sensor ini hanya mengandalkan nilai yang didapatkan dari *thermistor* sebagai pengukur TDB dan *moisture holding substrate* sebagai pengukur nilai kelembaban yang ditampung, dengan pembacaan nilai konduktivitas yang berbeda pada tiap kondisinya(Nedelkovski). Padahal untuk mendapatkan nilai kelembaban, dibutuhkan setidaknya tiga buah parameter seperti TDB, TWB, dan tekanan untuk melihat nilai RH pada grafik psikrometrik(Gatley, 2013; Materials, 1996).

Namun pada sensor ini, nilai TWB hanya berupa program yang dimasukan kedalam sirkuit dari sensor tersebut(Stull, 2011). Sehingga pada kondisi lingkungan Indonesia, yang terjadi adalah program yang digunakan untuk menentukan nilai TWB tidak mendapatkan nilai RH sesungguhnya. Yang mana karakteristik dari sensor ini memiliki nilai yang berada dibawah nilai kelembaban sebenarnya. Hal ini juga menunjukan akurasi dari sensor DHT22 masih kurang sehingga masih dibutuhkannya kalibrasi. Jika perhitungkan nilai *error* yang didapat dari data RH DHT22 dengan menggunakan persamaan 2.12, dan dicari nilai RMSE dengan persamaan didapatkan tabel dan grafik seperti berikut.

Tabel 4.2. Perhitungan Nilai *Error*

<i>no</i>	<i>RH ASTM (%)</i>	<i>RH DHT(%)</i>	<i>DELTA</i>	<i>%Error DHT</i>
1	46.16	44.3	-1.86	-4%
2	46.16	45.9	-0.26	-1%
3	46.16	47.1	0.94	2%
4	46.16	47.2	1.04	2%
5	47.09	47.2	0.11	0%
6	47.09	48.6	1.51	3%
...	...	...	...	...
1584	95.75	94.7	-1.05	1%
<i>RMSE</i>				9%



Gambar 4.5. Grafik Nilai *Error* dari Sensor DHT22 Sebelum Kalibrasi

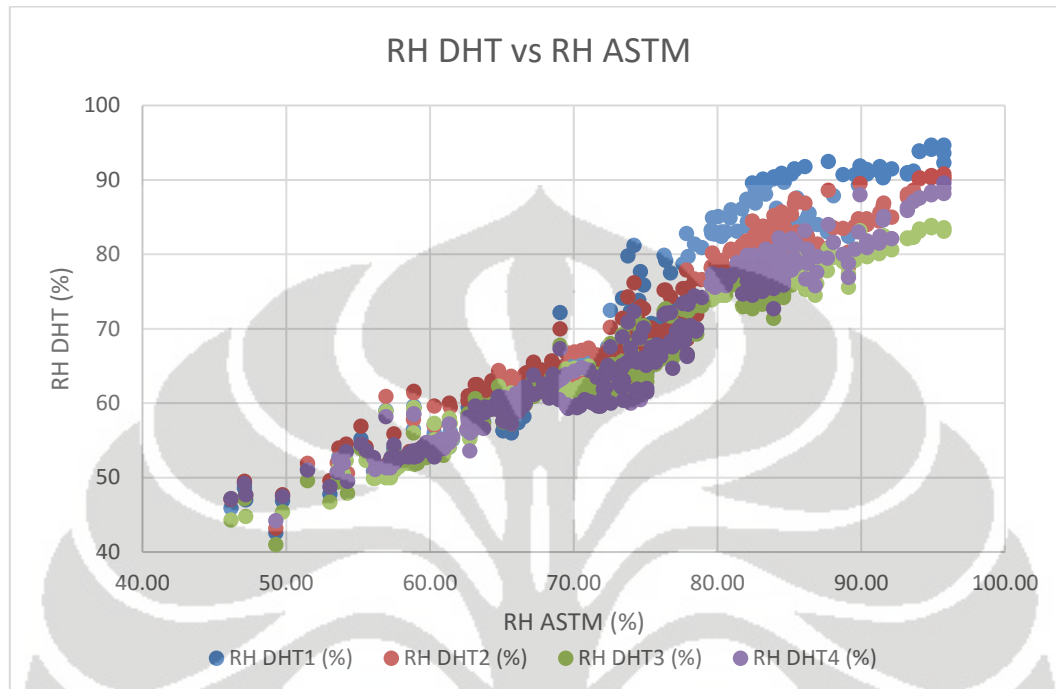
Nilai *%error* yang didapatkan dari selisih nilai pengukuran kelembaban menggunakan sensor DHT22 dengan nilai kelembaban dengan metode ASTM lalu dibandingkan dengan nilai kelembaban yang diukur dengan metode ASTM E337-84. Nilai *error* pada tiap-tiap sensor tiap pengukuran dan titik pengukuran masing-masing memiliki nilai *error* yang berbeda dan beragam. Rentang *error* yang didapatkan adalah berkisar -20% sampai dengan 10% terhadap kelembaban ASTM. Dari data yang diambil, rata-rata dari nilai *error* yang didapatkan adalah sebesar 9% *error*. Dengan demikian terlihat bahwa sensor DHT22 memiliki karakteristik yang berbeda dari yang berada pada *datasheet* yaitu memiliki *error* $\pm 5\%RH$, karena sensor ini digunakan pada kondisi lokasi yang berbeda dari kondisi lokasi pada saat sensor ini dibuat yang dinamakan *environment error* (Mechanical Measurement and Metrology; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009). Nilai *error* ini masih cukup besar atau dapat dikatakan tingkat akurasi dari sensor ini masih buruk. Oleh karena itu sensor DHT22 masih perlu dikalibrasi nilai *outputnya* untuk mendapatkan nilai kelembaban yang lebih akurat pada kondisi wilayah yang beriklim tropis.

4.3. Pengolahan untuk mencari persamaan RH DHT

Untuk mendapatkan persamaan dari RH DHT22 terhadap RH ASTM, dibuat grafik antara RH DHT22 vs RH ASTM dengan sumbu x adalah RH ASTM karena RH ASTM inilah yang dijadikan acuan dan dianggap nilainya merupakan nilai *input* dari

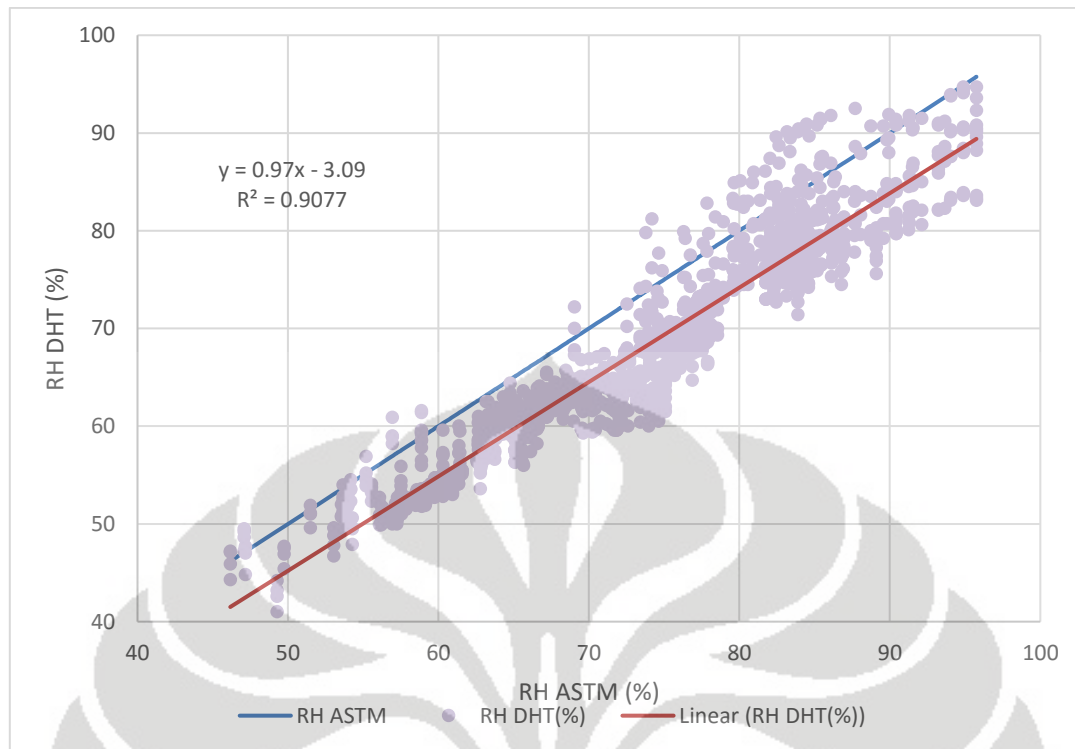
Universitas Indonesia

sensor dan sumbu y adalah RH DHT22. Plot grafik tersebut berdasarkan hubungan waktu pengambilan yang bersamaan atau pada *sequence* yang sama sehingga mendapatkan grafik dibawah ini



Gambar 4.6. Grafik RH DHT22 vs RH ASTM

Setelah memplot ke grafik hubungan antara RH DHT22 terhadap RH ASTM, dicari satu garis regresi yang merepresentasikan titik-titik dari keempat sensor tersebut dengan cara menggabungkan keempat sensor tersebut menjadi satu buah data dan dicari persamaan garis regresi liniernya dari keseluruhan data gabungan tersebut.



Gambar 4.7. Grafik Pencarian Persamaan Regresi Linier

Penggabungan data dari empat buah sensor menjadi satu gabungan memiliki tujuan didapatkannya satu persamaan yang menyeluruh yang dapat digunakan oleh semua sensor DHT pada kondisi data yang telah didapatkan yaitu temperatur 20-35°C dengan kelembaban 46-95%RH. Karena apabila dilakukan pencarian persamaan tiap-tiap data yang didapatkan dari masing-masing sensor, maka apabila kita menggunakan sensor yang berbeda dari keempat sensor tersebut, maka harus dicari lagi persamaan untuk mengkalibrasi sensor tersebut.

Dengan pembuatan satu persamaan yang menyeluruh (*universal*) maka persamaan ini dapat digunakan untuk sensor DHT22 yang lainnya. Pemilihan garis linier pada regresinya dilakukan karena termometer yang digunakan adalah termometer berisi cairan merkuri yang mempunyai karakteristik linier ("Precision Thermometers for Material Testing,"). Selain itu pemilihan garis linier pada regresi karena alat ukur yang bagus dan dicari adalah alat ukur yang memiliki karakteristik yang sensitivitasnya linier, lalu untuk memudahkan dalam pengolahan. Karena hubungan antara sensor kelembaban DHT22 dengan pengukuran kelembaban dengan metode ASTM tidak memiliki hubungan fisika, sehingga pemilihan hubungan regresinya dapat dalam bentuk apapun.

Untuk mencari nilai-nilai koefisien pada regresi linier, digunakan persamaan 2.19 sampai dengan persamaan 2.21. Selanjutnya dicari nilai-nilai standard deviasi dari masing-masing koefisien tersebut serta *standard error* dari persebaran titik-titik data terhadap garis regresi yang terbentuk yaitu dengan menggunakan persamaan 2.29, 2.31, dan 2.33 sehingga mendapatkan hasil seperti berikut.

Tabel 4.3. Tabel Hasil Perhitungan Koefisien m dan c serta Deviasinya

m	0.9723344
sm	0.014512
b	-3.0860933
sb	0.5883263
<i>Standard Error</i>	3.272619789

Nilai *slope* dari persamaan ini adalah sebesar 0.97 yang menandakan nilai *sensitivity drift*nya dari persamaan $y=x$ yang menjadi acuan. Terlihat bahwa berarti sensor DHT22 ini memiliki karakteristik nilai sensitivitasnya adalah 0.97. lalu untuk nilai *zero drift* dari karakteristik sensor ini memiliki nilai -3.09 yang menandakan nilai *error* yang menyebar pada tiap titik pengambilan data adalah sebesar -3.09 (Moris, 2001)

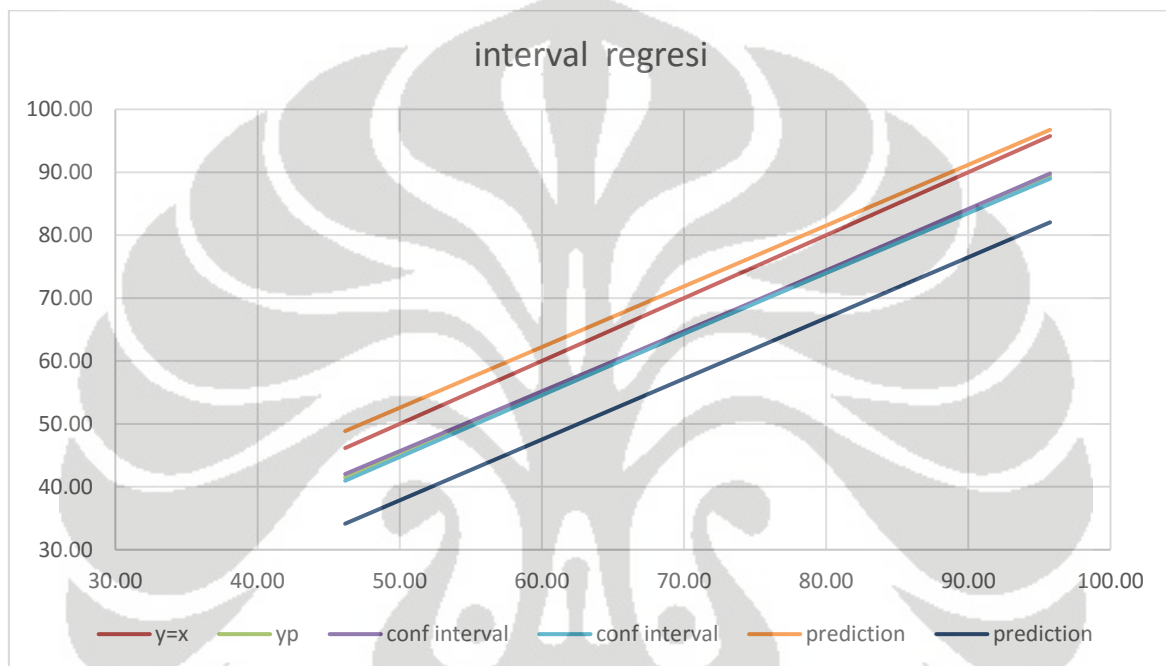
Persamaan regresi yang didapatkan ini hanya berlaku untuk kondisi lingkungan seperti saat data ini diambil yaitu untuk nilai kelembaban 46-95%RH dengan temperatur udara 20-35°C. Persamaan ini memiliki deviasi pada tiap koefisiennya, yaitu sb untuk *standard deviasi* dari *intercept* dan sm untuk *standard deviasi* dari *slope* persamaan. Dari hasil pengolahan tersebut maka persamaan regresi liniernya menjadi

$$RH_{DHT22} = (0.97 \pm 0.01)RH_{ASTM} - (3.09 \pm 0.58)$$

Dari hasil pengolahan yang didapatkan, persamaan regresi yang didapatkan memiliki *standard deviasi* pada koefisien kemiringan sebesar 0.01. Nilai ini *relative* kecil karena rentang nilai x atau nilai *humidity* dari ASTM memiliki rentang 0-100 sehingga penyimpangan yang terjadi walau pada nilai $x = 100\%RH$ hanya terjadi penyimpangan 0.77%RH.

Untuk nilai *standard deviasi* pada *intercept*, memiliki nilai deviasi 0.58 yang nilai ini pun kecil karena hanya mempengaruhi 0.58%RH sehingga nilai *standard deviasi* ini masih dapat ditoleransi karena nilainya cukup kecil. Kedua nilai ini *relative* kecil karena maksimal pengaruh atau *error* dari keraguan yang didapatkan sebesar 1.35% yang mana nilai rentang RH adalah dari 0-100% RH. Kedua nilai ini nantinya akan menentukan nilai *confidence interval* dari regresi linier tersebut.

Nilai *standard Error* yang didapatkan terhadap persamaan regresi yang telah dibuat memiliki nilai 3.27, yang berarti titik-titik pada sensor DHT22 terhadap nilai RH ASTM mempunyai nilai variasi persebaran sebesar 3.27. Hal ini menandakan penyebaran yang terjadi pada sensor tersebut cukup besar atau dapat dikatakan bahwa sensor ini terdistribusi secara cukup luas atau kurang presisi. Untuk meninjau lebih lanjut, maka dilihat pada *interval-interval* untuk menambah keyakinan pada garis regresi yang telah dibuat.

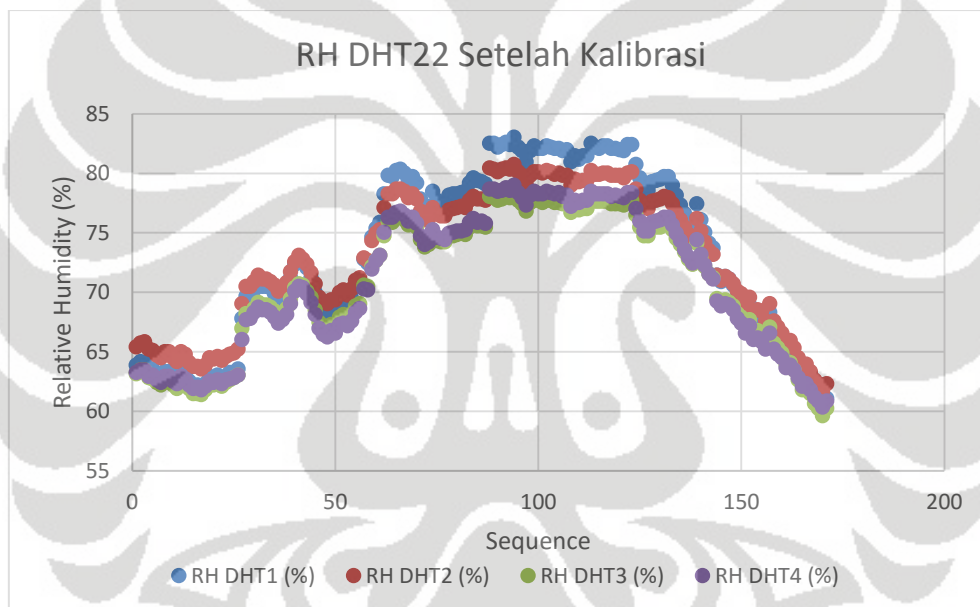


Gambar 4.8. Grafik *Interval* pada Regresi Linier

Berikut adalah hasil pengolahan *interval* yang terdapat pada regresi linier. Terdapat dua buah rentang *interval* yang didapatkannya yaitu *confidence interval* dan *prediction interval*. *Confidence interval* yang didapatkan sangatlah kecil yaitu dengan rentang $\pm 0.5\%$ yang berarti garis regresi yang didapatkan adalah suatu garis yang sudah sangat merepresentasikan titik-titik data yang dimiliki karena jumlah data yang dimiliki pun cukup banyak. Jika dilihat dari bentuk grafiknya, terlihat pada bagian tengah sekitar nilai $x=70-80$, memiliki *interval* yang lebih sempit dibandingkan dengan *interval* pada bagian ujung-ujung rentang x . Hal ini merupakan hasil dari adanya nilai ketidakpastian atau deviasi dalam *slope* dan *intercept*. Namun pada grafik terlihat bahwa rentang *interval* pada *confidence interval*nya pun sangat kecil sehingga kita dapat mempercayai persamaan yang telah didapatkan ini..

Prediction interval merupakan sebuah rentang yang memprediksi bahwa ketika pengambilan data dilakukan lagi, maka data tersebut akan berada pada rentang *prediction interval* tersebut. Hal ini memperlihatkan karakteristik dari sensor DHT22 tersebut terhadap ASTM yang nilainya diprediksi akan jatuh pada rentang tersebut. Rentang *prediction interval* yang didapatkan adalah sebesar $\pm 7.3\%$ dari garis regresi linier yang terbuat. Garis ini menunjukkan karakteristik dari sensor DHT22 ini memiliki memiliki *error* yang cukup besar dari DHT22 itu sendiri. Nilai *prediction interval* ini nantinya akan dibandingkan dengan nilai *prediction interval* pada data setelah dilakukan pengkalibrasian (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011).

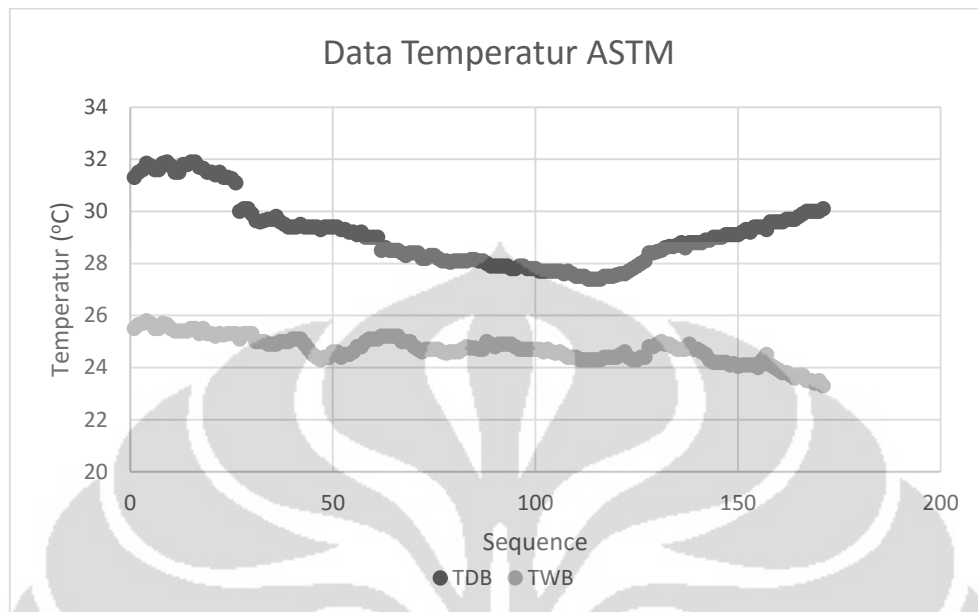
4.4. Hasil pengambilan data setelah kalibrasi



Gambar 4.9. Grafik Data Kelembaban dari Sensor DHT22 Setelah Kalibrasi

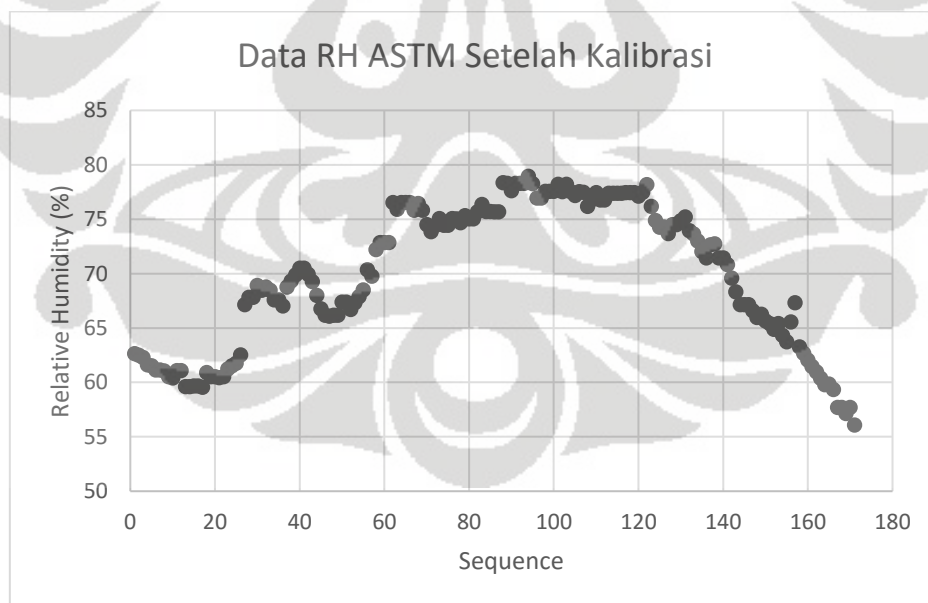
Berikut merupakan hasil data yang didapatkan dari pengambilan data setelah dilakukannya pengkalibrasian dari *output* sensor. Dilakukan pengambilan data selama beberapa waktu dengan jarak antar pengambilan data selama lima menit. Jika dilihat dari hasil pengambilan data setelah melakukannya kalibrasi, terlihat bahwa nilai *error* yang didapatkan dari sensor ini terhadap sesama sensor DHT ini adalah memiliki nilai terkecil 1.86%RH dan nilai penyebaran terbesar adalah 4.76%RH. Terlihat bahwa nilai *error* terhadap keempat sensor itu sendiri mengalami penurunan yang pada saat sebelum kalibrasi memiliki nilai *error* maksimal 9.99%RH, sekarang menjadi 4.76%RH. Yang

menandakan bahwa kepresisian dari masing-masing sensor ini sudah membaik setelah dilakukannya kalibrasi.

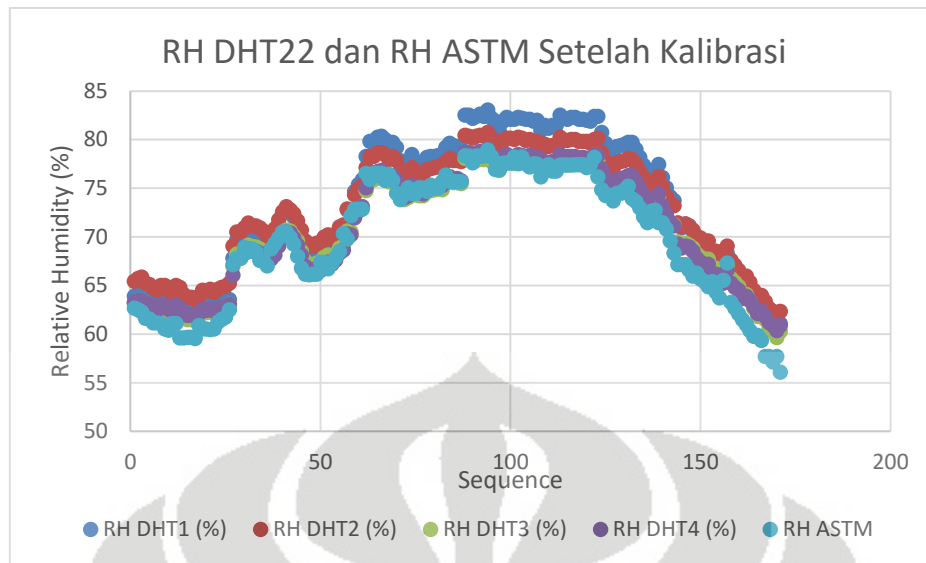


Gambar 4.10. Grafik Data Temperatur Setelah Pengkalibrasian

Berikut merupakan grafik pengambilan data temperatur bola basah dan temperatur bola kering pada pengambilan data setelah kalibrasi. Rentang data temperatur yang didapatkan adalah berkisar antara 27-32°C dengan rentang kelembaban 55-80%RH.

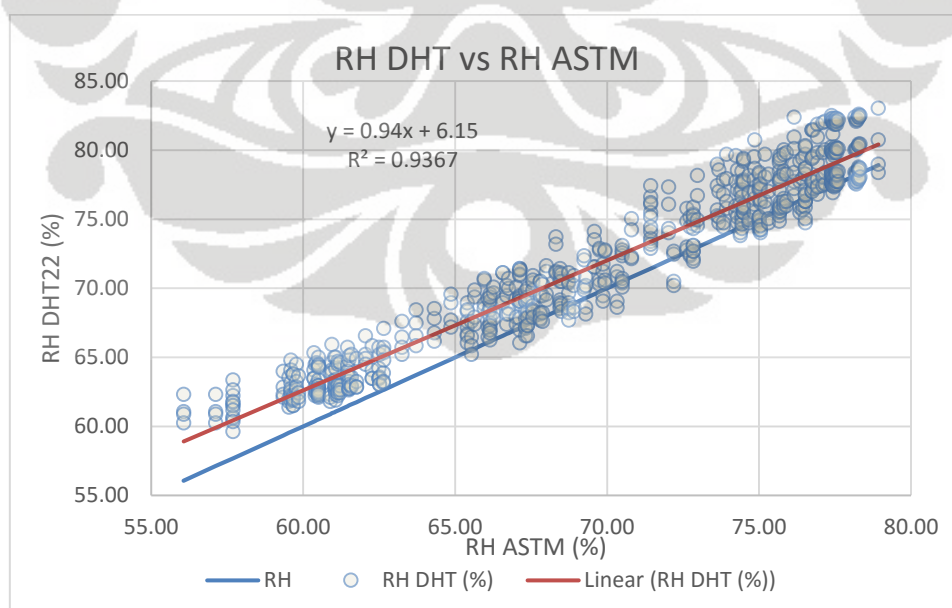


Gambar 4.11. Grafik Data Kelembaban dengan Metode ASTM



Gambar 4.12. Grafik Perbandingan RH Setelah Kalibrasi

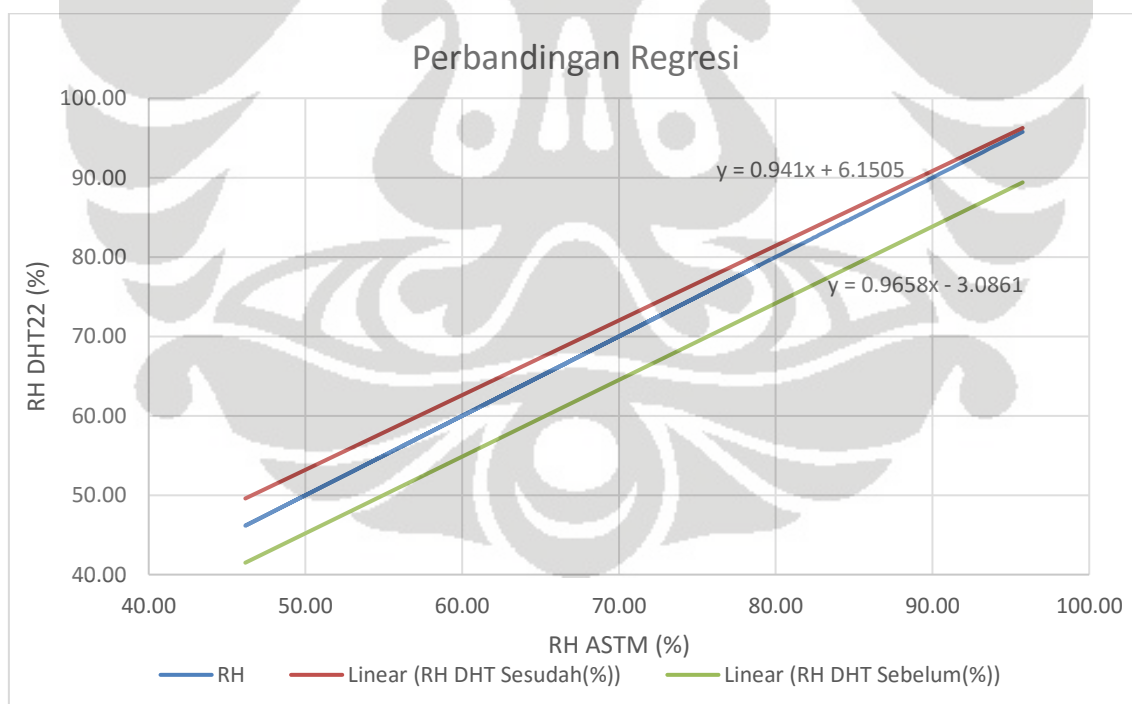
Jika melihat data hasil pengambilan pada saat setelah kalibrasi dan membandingkan antara hasil pengambilan pada sensor DHT dengan ASTM, terlihat bahwa kali ini nilai dari sensor DHT22 memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai RH ASTM. Hal tersebut mengartikan bahwa masih terdapat nilai *error* yang terjadi setelah dilakukannya kalibrasi. Nilai *error* inilah yang dinamakan *random error*, dikarenakan nilai *error* ini sulit untuk di eliminasi (Measurements and Error Analysis, 2011; Mechanical Measurement and Metrology; Moris, 2001; Placko, 2007; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009).



Gambar 4.13. Grafik RH DHT22 vs RH ASTM Setelah Kalibrasi

Jika melihat grafik diatas, persamaan dari garis regresi sensor setelah sensor ini dikalibrasi memiliki persamaan $y = 0.94x + 6.15$. yang berarti sensor ini setelah dilakukannya kalibrasi, memiliki karakteristik *sensitivity error* sebesar 0.94 dan *zero error* sebesar 6.15. Lalu untuk nilai standard deviasi pada m dan b dari persamaan 2.31 dan 2.33 yaitu standard deviasi m sebesar 0.01 dan standard deviasi b sebesar 0.66. sehingga persamaan regresi atau karakteristik dari sensor ini setelah kalibrasi adalah bernilai $RH_{DHT22} = (0.94 \pm 0.01)RH_{ASTM} + (6.15 \pm 0.66)$.

Hal ini menunjukkan bahwa persamaan ini memiliki nilai yang lebih jauh dari nilai garis $y=x$. Hal ini terjadi karena rentang pengambilan data yang didapatkan pada saat sebelum kalibrasi mendapatkan rentang 46.6% sampai dengan 95%, yang artinya persamaan dari regresi tersebut hanya berlaku untuk rentang 46-95%RH bukan untuk rentang 0-100%RH. Namun persamaan regresi dibentuk dan didapatkan untuk penggunaan untuk rentang yang sangat luas. Karena data yang didapatkan sebelum kalibrasi atau data yang didapatkan untuk mendapatkan persamaan regresi sebelum kalibrasi adalah rentang tertentu, maka persamaan kalibrasi dan regresi yang didapatkan memiliki batasan penggunaan hanya untuk rentang RH 46-95%.

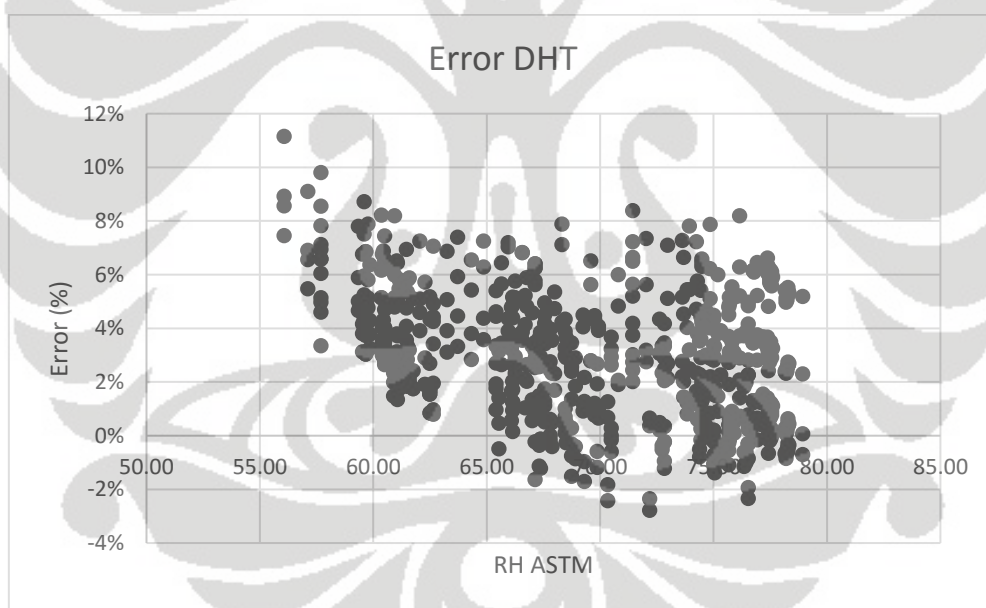


Gambar 4.14. Regresi Sebelum Kalibrasi vs Setelah Kalibrasi

Dilihat dari grafik diatas, untuk kedua buah persamaan regresi yang berbeda dari persamaan sebelum kalibrasi dengan persamaan regresi setelah kalibrasi. Terlihat untuk

rentang 46-95%, walaupun nilai *error* pada *zero error* dan *sensitivity error* yang didapatkan setelah kalibrasi memiliki nilai yang lebih menyimpang dari garis $y=x$, namun untuk rentang 46-95%, garis regresi dari data yang didapatkan setelah kalibrasi memiliki nilai yang lebih dekat dengan nilai ASTM. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan kalibrasi yang digunakan untuk mengkalibrasi sensor DHT22 ini dapat dipercaya untuk rentang 46-95% sebagaimana data yang didapatkan pada sebelum kalibrasi dilakukan yang menunjukkan karakteristik sensor DHT22 untuk rentang 46-95%. Apabila pengambilan data dilakukan diluar rentang kelembaban ini, tidak dapat menjamin bahwa nilai kalibrasi yang didapatkan memiliki hasil yang nilai *error*nya kecil. Selain itu apabila dilakukan pengukuran diluar rentang ini, parameter seperti nilai RMSE, penyebaran data dan lain-lain tidak dapat dipastikan sesuai dengan yang telah didapatkan pada kalibrasi yang telah dilakukan ini

4.5. Perhitungan dan Perbandingan Error

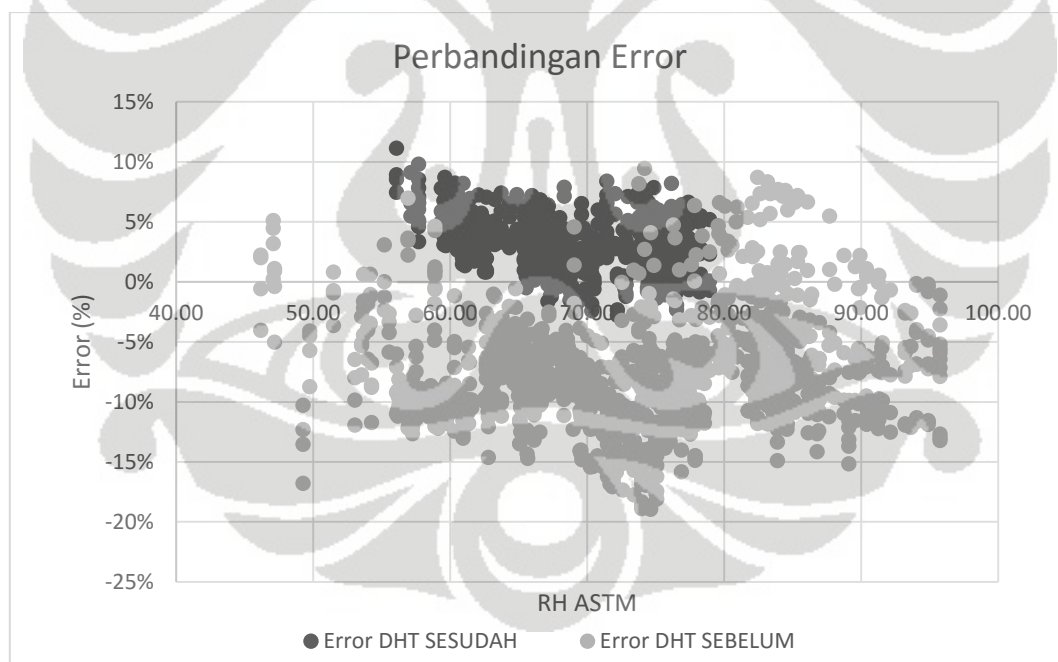


Gambar 4.15. Grafik Nilai *Error* Setelah Kalibrasi

Setelah melihat bahwa sensor ini masih memiliki nilai *error* yang didapat, dihitung nilai *error* dari sensor ini setelah dilakukannya kalibrasi dengan menggunakan persamaan 2.12. Nilai *error* yang didapatkan dari sensor ini setelah kalibrasi adalah berkisar antara -3% sampai 11% *Error* dengan RMSE sebesar 4%. Nilai *error* ini sudah jauh membaik jika dibandingkan dengan nilai *error* sensor disaat sensor belum dilakukan

kalibrasi. Dilihat dari RMSE yang didapatkan pada pengambilan data setelah kalibrasi, menghasilkan nilai RMSE tidak tepat di nilai 0%.

Hal ini terjadi karena masih terdapat *error* yang didapatkan oleh sensor ini. Nilai *error* ini dapat terjadi karena persamaan kalibrasi yang digunakan merupakan suatu persamaan yang *universal* dapat digunakan untuk seluruh kondisi yang berada di Indonesia untuk sensor DHT22. Sehingga tidak spesifik untuk satu buah kondisi lingkungan dan satu buah sensor saja. Sehingga terdapat sisa nilai error dari pengambilan nilai dari sensor tersebut. Dan hal ini juga terjadi karena rentang pengambilan data sebelum kalibrasi pada rentang nilai kelembaban yang rendah masih kurang banyak variasi yang didapatkan. Sehingga yang terjadi adalah persamaan yang didapatkan masih terdapat nilai ketidakpastian. Namun nilai error yang didapatkan sudah berkurang cukup baik jika dibandingkan dengan kondisi sebelum kalibrasi. Jika dilakukan proses untuk mengkalibrasi sensor ini pada suatu kondisi tertentu dengan satu sensor DHT22 yang sudah ditentukan, maka nilai error yang tersisa akan jauh lebih sedikit dikarenakan proses pengkalibrasian ini dilakukan untuk sesuatu yang lebih spesifik.



Gambar 4.16. Grafik Perbandingan *Error* Sebelum dan Setelah Kalibrasi

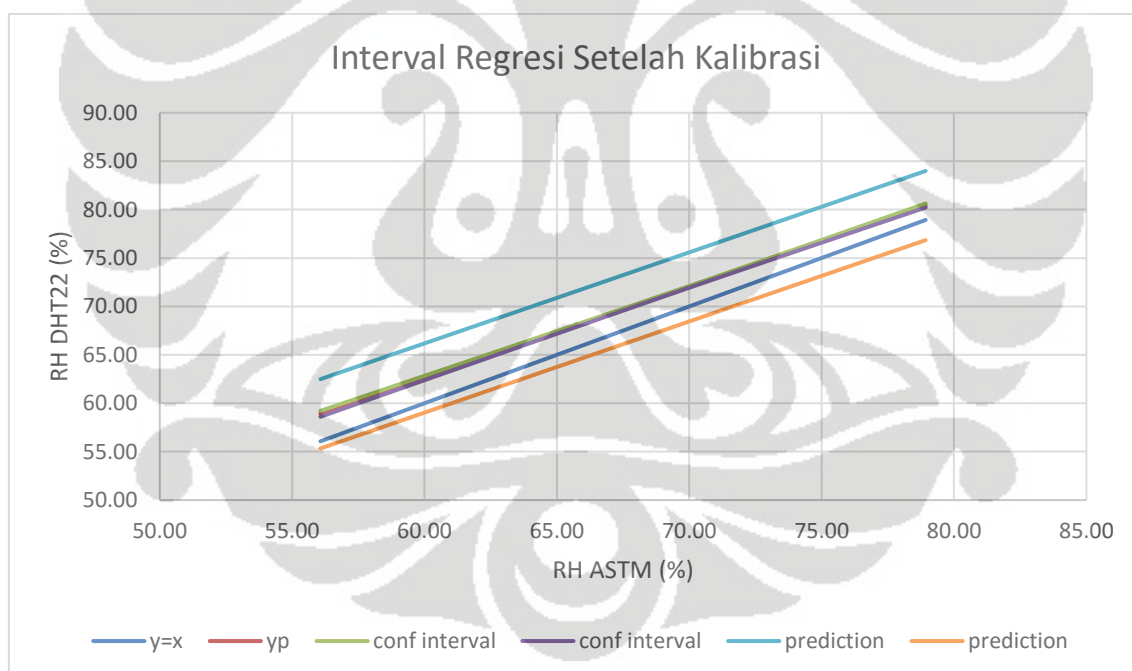
Jika dibandingkan nilai *error* yang didapatkan pada sensor saat sebelum kalibrasi dan setelah kalibrasi. Terlihat bahwa nilai *error* yang didapatkan dari sensor setelah kalibrasi jauh berkurang, yang sebelumnya nilai *error* yang didapatkan dari sensor saat sebelum kalibrasi adalah berkisar -19% sampai 10%, saat ini nilai *error*nya hanya -

3% sampai 11%. Nilai *error* ini berkurang lebih dari setengahnya dari *error* sebelum dikalibrasi. nilai RMSE dari sensor yang tadinya adalah 9% saat pengambilan data sebelum kalibrasi, menjadi 4% saat sensor telah dikalibrasi.

Hal ini menunjukkan bahwa nilai *error* dari sensor ini berkurang. Dengan kata lain, sensor ini memiliki akurasi yang lebih tinggi setelah sensor ini dikalibrasi (*Mechanical Measurement and Metrology*; Placko, 2007; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009; wali, 2011). Lalu jika dilihat dari pengolahan regresi linier untuk data sensor setelah kalibrasi, nilai *standard error* dari data setelah kalibrasi dengan menggunakan persamaan 2.29, 2.36, 2.38 menunjukkan nilai:

Tabel 4.4. Tabel Perbandingan *Interval* Sebelum dan Sesudah Kalibrasi

	Sebelum kalibrasi	Setelah kalibrasi
<i>Standard Error</i>	3.272619789	1.590005012
<i>range conf interval</i>	$\pm 0.5\%RH$	$\pm 0.3\%RH$
<i>range prediction interval</i>	$\pm 7.3\%RH$	$\pm 3.5\%RH$



Gambar 4.17. Grafik *Interval* Regresi Setelah Kalibrasi

Jika dilihat dari nilai *interval* yang didapatkan pada data setelah kalibrasi, data setelah terkalibrasi memiliki nilai *standard error* yang lebih kecil dari saat sensor belum dikalibrasi. nilai *standard error*nya mengecil sampai 50% dari saat sensor belum terkalibrasi. Hal ini menunjukkan bahwa penyebaran data dari sensor saat setelah

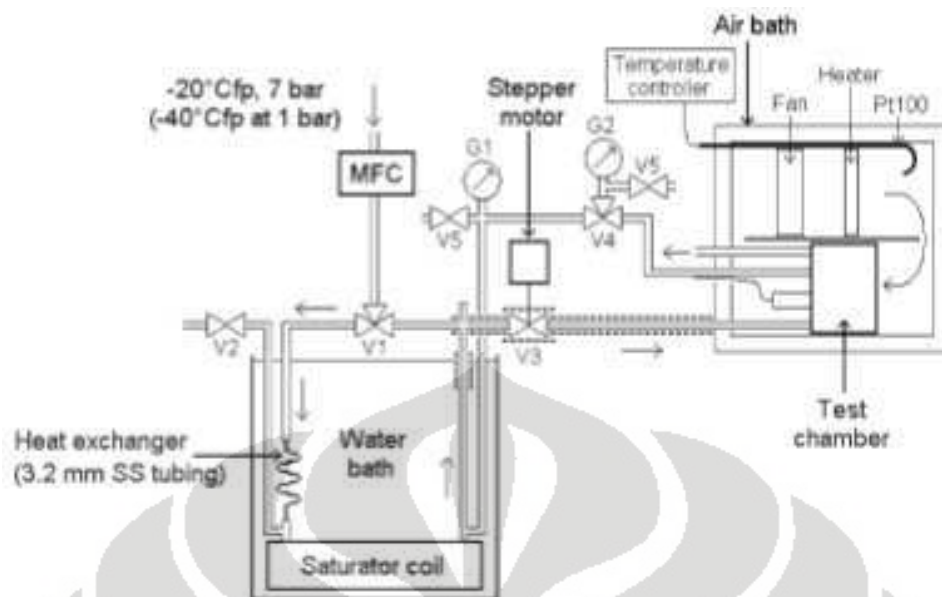
dikalibrasi mengalami penyempitan yang artinya nilai antar sensor memiliki nilai yang lebih dekat atau dapat dikatakan sensor ini lebih presisi jika dibandingkan sensor ini belum dikalibrasi.

pada kondisi setelah sensor tersebut terkalibrasipun terlihat bahwa pada bagian nilai tengah x , *confidence interval* memiliki *range* yang paling sempit dan semakin melebar saat menuju ujung dari garis tersebut, yang mengartikan terdapat keraguan pada *slope* dan *intercept* dari regresi tersebut. Dilihat dari rentang *confidence interval* pada sensor yang belum dikalibrasi dengan sensor yang telah dikalibrasi, memiliki rentang *confidence interval* yang lebih sempit setelah sensor tersebut dikalibrasi

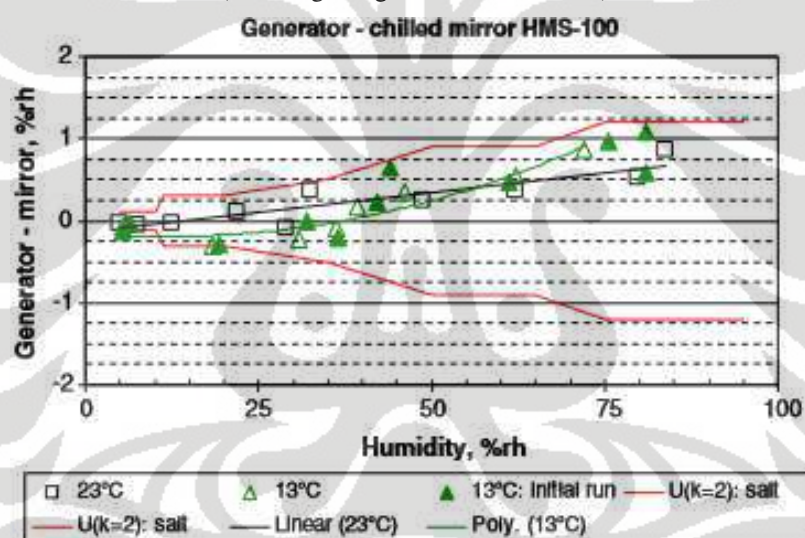
Pada garis-garis *prediction interval* setelah kalibrasi memiliki rentang $\pm 3.5\%RH$, yang artinya 95% dari data yang akan diambil, akan jatuh pada rentang mencapai $\pm 3.5\%RH$. Jika dibandingkan dengan *prediction interval* pada sensor yang belum dikalibrasi, yaitu $\pm 7.3\%RH$. Nilai *prediction interval* setelah dikalibrasi memiliki rentang yang lebih sempit, yang menandakan sensor ini terdistribusi lebih sempit dibandingkan saat sensor belum dikalibrasi atau lebih presisi (D. C. Montgomery & G. C. Runger, 2011; DeCoursey, 2003; Harinaldi, 2005; *Mechanical Measurement and Metrology*; Placko, 2007; Sahoo, 2013; Vijayaraghavan & Rajappan, 2009; wali, 2011).

4.6. Perbandingan dengan Metode Kalibrasi Kelembaban Relatif Lain

Jika membandingkan metode penelitian ini dengan metode yang tertulis pada *paper* “A Simple Humidity Generator for Relative Humidity Calibrations” oleh Liedberg et. al. Pada *paper* ini dilakukannya kalibrasi *hygrometer* menggunakan *dew point generator* untuk mengkalibrasi RH pada rentang 5-95% dengan rentang temperatur 5-60°C dan temperatur *dew point* -30-59°Cdp. Pada *paper* ini dilakukan pengkalibrasian *hygrometer* pada *test chamber* dengan didalamnya terdapat tiga buah *hygrometer* yang telah terkalibrasi sebagai acuan untuk mengkalibrasi dan *hygrometer* yang akan di kalibrasi. Pengujian dilakukan dengan memperhitungkan pada kondisi suhu yang dijaga konstan, dan diberikan udara saturasi, yang udara tersebut diatur besarannya dengan menggunakan *motor stepper* yang memutar *valve* sehingga dapat melakukan variasi nilai *Humidity* pada *test chamber*.



Gambar 4.18. Skematik *Generator RH*
(Liedberg, Mnguni, & Jonker, 2008)



Gambar 4.19. Hasil Pengambilan Data dari RH *Generator*
(Liedberg et al., 2008)

Berikut merupakan hasil percobaan pengambilan data yang didapatkan dari alat kalibrasi tersebut. Pada *paper* ini tidak diperlihatkan hasilnya namun memang hanya memperlihatkan bagaimana alat ini berfungsi mendapatkan nilai kelembaban pada tiap titik temperatur yang diuji. Pada alat kalibrasi kelembaban ini dapat diatur kondisi-kondisi yang diinginkan oleh peneliti dan didapatkan nilai kelembabannya dengan menggunakan *hygrometer* yang telah terkalibrasi (Liedberg et al., 2008).

Namun pada penelitian yang dilakukan oleh penulis, tidak dapat diatur nilai kelembaban dan temperatur yang diinginkan dikarenakan metode kalibrasi yang

dilakukan melakukan pengambilan data kelembaban bergantung pada kondisi kelembaban didapatkan pada saat pengambilan data. Metode yang digunakan oleh penulis dapat dilakukan dengan lebih mudah karena dapat dilakukan langsung pada kondisi nyata pada kondisi penggunaan sensor kelembaban tersebut langsung. Dan memiliki konsep metode yang lebih sederhana tanpa menggunakan peralatan-peralatan yang canggih. Dan jika melihat dari hasil yang didapatkan pun nilai error yang didapatkan berkurang dan dapat dipercaya dalam rentang yang telah ditentukan.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan dari hasil yang telah diperoleh dari penelitian kalibrasi sensor DHT22 dengan metode yang telah dilakukan

1. Sensor DHT22 memiliki karakteristik yang berbeda pada kondisi wilayah yang berbeda dari wilayah produksinya. Hal tersebut terlihat dari nilai *error* yang didapatkan pada sensor tersebut melampaui batas nilai *error* yang berada pada *datasheet* yang dikeluarkan.
2. Sensor DHT22 memiliki karakteristik untuk kondisi di wilayah Indonesia yang diperlihatkan dalam persamaan $RH_{DHT22} = (0.97 \pm 0.01) RH_{ASTM} - (3.09 \pm 0.58)$ yang berarti memiliki nilai penyimpangan sensitivitas 0.97 dengan penyimpangan pada nilai ukur 0 sebesar -3.09 yang tersebar untuk setiap rentangnya.
3. Metode kalibrasi ini dapat dipercaya karena jika dilihat dari nilai *error* yang didapatkan sensor setelah kalibrasi memiliki penurunan RMSE yang sebelumnya adalah 9% menjadi 4% dengan rentang *error* yang tadinya adalah -20%-10% menjadi -3%-11%. Dan *range* nilai kelembaban dari sensor ini terhadap antar sensor DHT22 berubah dari 0.173-9.99% menjadi 1.86-4.76%. Dari hasil ini terlihat bahwa tingkat akurasi dan presisi dari sensor ini mengalami peningkatan.
4. Persamaan kalibrasi yang didapatkan dari penelitian ini dapat digunakan untuk seluruh sensor DHT22 karena telah dibuat satu persamaan yang *universal* dan dapat digunakan untuk sensor DHT22 yang lainnya untuk rentang kelembaban 46%-95% pada kondisi suhu 20-35°C.

5.2. Saran

Berikut merupakan saran yang dapat dilakukan selanjutnya untuk mengkalibrasi lebih lanjut sensor DHT22 ini

1. Melakukan kalibrasi dari hasil sensor yang telah terkalibrasi ini, untuk mengurangi nilai *error* yang masih tersisa dari proses kalibrasi ini

2. Mencari rentang suhu dan kelembaban yang lebih luas agar cakupan penggunaan sensor ini dapat digunakan pada rentang yang lebih luas dan dapat dipercaya pada rentang tersebut



DAFTAR PUSTAKA

- Arduino Products. Retrieved March, 20, 2018, from <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>
- Ariawan, M., Subagio, B., & Setiadi, B. (2015). Asphalt Pavement Temperature Profile for Tropical Climate in Indonesia. *Applied Mechanics and Materials*, 776, 17-23.
- Aritonang, S. B., Yuniati, R., Abinawanto, Imron, M., & Bowolaksono, A. (2016). Physiology Response of the Indigenous Cattle Breeds to the Environment in West Sumbawa, Indonesia. *International Symposium on Current Progress in Mathematics and Sciences*.
- Badamasi, Y. A. (2014). The Working Principle Of An Arduino. *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 1-4.
- Badan Meteorologi, K., dan Geofisika Indonesia. (2013-2018). *Laporan Cuaca Ekstrem Stasiun Indonesia*. Retrieved from: http://dataonline.bmkg.go.id/cuaca_ekstrim
- Banzi, M. (2009). *Getting Started with Arduino* (first edition ed.). United States of America: O'Reilly Media.
- Basto, C., Pela, L., & Chacon, R. (2016). open-source digital technology for low cost monitoring of historical construction. *Journal of Cultural Heritage*, 25, 31-40.
- Bogdan, M. (2016). The Simulation of the Temperature and the Humidity Measurement System. *The 11th International Conference on Virtual Learning*, 156(2016).
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? –Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7, 1247–1250. doi: doi:10.5194/gmd-7-1247-2014
- Corporation, C. (1975). PSYCHROMETRIC CHART Normal Temperature. USA: Carrier Corporation.
- D. C. Montgomery, & G. C. Runger. (2011). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Data Kelembaban Udara Di DKI Jakarta Menurut Bulan Tahun 2014*. (2016). Retrieved from: <http://data.jakarta.go.id/dataset/data-kelembaban-udara-di-dki-jakarta-menurut-bulan>
- DeCoursey, W. J. (2003). *Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel* Elsevier Science (USA): NEWNES.
- Delanaud, S., Decima, P., Pelletier, A., Libert, J.-P., Durand, E., Stephan-Blanchard, E., . . . Tourneux, P. (2017). Thermal management in closed incubators: New software for assessing the impact of humidity on the optimal incubator air temperature. *Medical Engineering and Physics*, 46, 89-95.
- Delanaud, S., Decima, P., Pelletier, A., Libert, J.-P., Stephan-Blanchard, E., Bach, V., & Tourneux, P. (2016). Additional double-wall roof in single-wall, closed, convective incubators: Impact on body heat loss from premature infants and optimal adjustment of the incubator air temperature. *Medical Engineering and Physics*, 38, 922 - 928.
- Durfee, W. (2011). Arduino Microcontroller Guide.
- Ellis, J. (2005). Neonatal Hypothermia. *Jurnal of Neonatal Nursing*, 11, 76-82.
- Evans, C. J., Hocken, R. J., & Estler, W. T. (1996). Self-calibration: reversal, redundancy, error separation, and 'absolute testing'. *CIRP annals*, 45(2), 617-634.

- Fraguelaa, A., Matlalcuatzib, F. D., & Ramosc, Á. M. (2014). Mathematical modelling of thermoregulation processes for premature infants in closed convectively heated incubators. *Computers in Biology and Medicine*, 57, 159-172.
- Gaddam, A., Al-Hrooby, M., & Esmael, W. F. (2014). Designing a Wireless Sensors Network for Monitoring and Predicting Droughts.
- Gatley, D. P. (2013). *Understanding Psychrometrics* (Third Edition ed.). USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- . General Information on Thermometers. (2010). In I. ICL Calibration Laboratories (Ed.): NovaTech International.
- Giancoli, D. C. (2005). *Physics Principles wit Applications* (6th ed.). New Jersey: Pearson Education.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2011). *Fundamentals of Physics* (9th ed.). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Harinaldi. (2005). *Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*. Jakarta: Erlangga.
- Hojaiji, H., Kalantarian, H., Bui, A. A. T., Christine E. King, P., & Majid Sarrafzadeh, P. (2017). Temperature and Humidity Calibration of a Low-Cost Wireless Dust Sensor for Real-Time Monitoring *IEEE Instrumentation and Measurement Society*.
- Humidity / Moisture Handbook*. (1999). Machine Applications Corporation.
- ISA.org. Calibration Principles. Retrieved 11-April-2018, 2018, from <https://www.isa.org/pdfs/calibration-principles-chapter1/>
- Jarvinen, T., Lorite, G. S., Rautio, A.-R., Juhász, K. L., Kukovecz, A., Kónya, Z., . . . Toth, G. (2017). Portable cyber-physical system for indoor and outdoor gas sensing. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 252, 983-990.
- Karyono, T. H. (2000). Report on thermal comfort and building energy studies in Jakarta Indonesia. *Building and Environment*, 35(77), 90.
- Koestoer, R. A. (2005). *Pengukuran Teknik*. Jakarta: Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Kunjumon, S., Pinto, K., & Saldanha, J. (2016). TEMPERATURE AND HUMIDITY MONITORING AND ALERT MANAGEMENT SYSTEM *International Journal of Engineering Research and General Science*, 4(4).
- Kurniawan, D. (2008). *TABEL DISTRIBUSI* Vienna, Austria: R Development Core Team.
- Lane, D. M., Scott, D., Hebl, M., Guerra, R., Osherson, D., & Zimmer, H. *Introduction to Statistics*
- Liedberg, H. G., Mnguni, M. R., & Jonker, D. (2008). A Simple Humidity Generator for Relative Humidity Calibrations. *Int J Thermophys* (2008), 29, 1660-1667. doi: DOI 10.1007/s10765-008-0423-z
- Liu, T. DHT22 Datasheet. In A. Electronics (Ed.).
- Lyon, A. (2004). Applied physiology: temperature control in the newborn infant.
- Lyon, A. J., & Oxley, C. (2000). Heat Balance, a computer program to determine optimum incubator air temperature and humidity. A comparison against nurse settings for infants less than 29 weeks gestation. *Early Human Development*, 62, 33-41.
- Maru, R., & Ahmad, S. (2014). Nocturnal Air Temperature Traverses across the City of Jakarta, Indonesia. *Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences*, 2, 19-23.

- Materials, A. S. f. T. a. (1996). *Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures)*. West Conshohocken, PA.
- Measurements and Error Analysis*. (2011).
- Mechanical Measurement and Metrology*. Rajkot: Department of Mechanical Engineering Darshan Institute of Engineering and Technology.
- Mesas-Carrascosa, F., Santano, D. V., Merono, J. E., Orden, M. S. d. I., & García-Ferrer, A. (2015). Open source hardware to monitor environmental parameters in precision agriculture. *Biosystems Engineering*, 137, 73-83.
- Moris, A. S. (2001). *Measurement and Instrumentation Principles* (Third Edition ed.). Great Britain: Butterworth-Heinemann
- Morton, B. W., & Corporation, D.-S. (2015). *Humidification Handbook* (3rd ed.): DRI-STEEM Corporation
- Nasional, B. S. (2014-2015). Program Nasional Regulasi Teknis (SNI) No. 16-4221:1996.
- Nedelkovski, D. DHT11 & DHT22 Sensors Temperature and Humidity Tutorial using Arduino. from <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/dht11-dht22-sensors-temperature-and-humidity-tutorial-using-arduino/>
- Placko, D. (2007). *Fundamentals of Instrumentation and Measurement* Great Britain and the United States ISTE Ltd.
- . Precision Thermometers for Material Testing. In DAKK-S-Calibration (Ed.): Ludwig Schneider.
- The Rotronic Humidity Handbook* (2005). Rotronic Instrument Corporation.
- Sahoo, P. (2013). *PROBABILITY AND MATHEMATICAL STATISTICS*. Louisville, USA: Department of Mathematics University of Louisville
- Stull, R. (2011). Wet-bulb temperature from relative humidity and air temperature. *of applied meteorology and climatology*, 50(11), 2267-2269.
- . Temperature and Humidity module AM2303 Product Manual. In A. Electronics (Ed.).
- Varberg, D. E., Purcell, E. J., & Rigdon, S. E. (2007). *Calculus with Differential Equations*: Pearson/Prentice Hall.
- Vijayaraghavan, G. K., & Rajappan, R. (2009). *Engineering Metrology and Measurements* (4th ed.). Chennai: A.R.S. Publication.
- wali, a. b. (2011). *A course in engineering metrology*: University of Technology.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2007). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists* (8th ed.). New Jersey: Pearson Education International
- Wise, J. (1988). *Liquid-In-Glass Thermometer Calibration Service*. Washington, DC National Institute of Standards and Technology (NIST).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengambilan Sebelum Kalibrasi

<i>sequence</i>	RH DHT ₁ (%)	RH DHT ₂ (%)	RH DHT ₃ (%)	RH DHT ₄ (%)	TDB	TWB	RH ASTM
1	75.7	73.6	71.4	72.7	28.10	25.90	83.89
2	78.6	76.2	73.7	75.4	28.10	25.90	83.89
3	79.6	76.8	74.2	75.9	28.10	26.00	84.60
4	79.8	77.1	74.6	76.4	28.10	26.00	84.60
5	79.7	77	74.6	76.4	28.10	26.00	84.60
6	79.4	76.9	74.4	76.1	28.10	25.95	84.24
7	79.5	77	74.6	76.4	28.10	25.95	84.24
8	79.5	77	74.5	76.3	28.05	25.80	83.53
9	79	76.5	74	75.8	28.00	25.80	83.86
10	79.5	76.9	74.4	76.2	28.00	25.90	84.57
11	79.9	77.3	74.7	76.7	28.00	25.90	84.57
12	79.5	77.2	74.6	76.3	28.00	25.70	83.16
13	78.1	75.7	73.3	75	27.90	25.60	83.13
14	77.4	75.2	72.7	74.5	27.90	25.50	82.43
15	77.9	75.5	73.1	74.8	27.90	25.50	82.43
16	77.7	75.4	73	74.7	28.00	25.50	81.77
17	77.5	75.3	73	74.7	28.00	25.50	81.77
18	77.7	75.4	73	74.7	28.00	25.50	81.77
19	77.7	75.5	73.2	74.9	27.95	25.50	82.10
20	80.4	77.9	75.3	77.1	27.60	25.50	84.44
21	80.6	78	75.4	77.3	27.60	25.50	84.44
22	81	78.4	75.8	77.6	27.60	25.55	84.80
23	81.4	78.8	76.2	78.1	27.60	25.60	85.16
24	81.6	79	76.3	78.2	27.60	25.60	85.16
25	81.5	78.9	76.2	78.2	27.60	25.60	85.16
26	81.5	78.9	76.2	78.2	27.60	25.60	85.16
27	81.4	78.8	76.1	78	27.60	25.60	85.16
28	81.5	78.8	76.2	78.1	27.60	25.60	85.16
29	81.4	78.8	76.1	78	27.60	25.55	84.80
30	81.3	78.8	76.1	78	27.60	25.60	85.16
31	81.1	78.6	75.9	77.9	27.60	25.60	85.16
32	81.2	78.7	76	77.9	27.65	25.50	84.11
33	80.7	78.3	75.5	77.5	27.70	25.50	83.77
34	80.4	78	75.4	77.3	27.70	25.50	83.77
35	81	78.5	75.8	77.8	27.60	25.55	84.80

36	81.2	78.7	76	78	27.65	25.60	84.82
37	81.4	78.9	76.2	78.2	27.65	25.60	84.82
38	81.5	78.9	76.2	78.3	27.65	25.60	84.82
39	81.1	78.6	75.8	77.8	27.65	25.60	84.82
40	81.8	79.3	76.5	78.6	27.40	25.40	85.10
41	81.8	79.3	76.5	78.6	27.40	25.40	85.10
42	81.8	79.3	76.5	78.7	27.35	25.40	85.44
43	81.8	79.4	76.6	78.7	27.35	25.40	85.44
44	81.7	79.3	76.5	78.6	27.30	25.35	85.43
45	81.9	79.4	76.6	78.7	27.30	25.30	85.07
46	81.8	79.4	76.6	78.9	27.30	25.30	85.07
47	81.5	79	76.2	78.4	27.30	25.30	85.07
48	81.3	78.9	76.1	78.2	27.20	25.20	85.04
49	81.4	78.9	76.1	78.1	27.20	25.20	85.04
50	81.4	79	76.2	78.3	27.20	25.20	85.04
51	81.6	79.1	76.4	78.4	27.25	25.25	85.05
52	81.4	79	76.2	78.2	27.30	25.30	85.07
53	81.4	79	76.2	78.2	27.30	25.20	84.35
54	80.8	78.6	75.9	77.9	27.30	25.20	84.35
55	80.7	78.4	75.6	77.7	27.20	25.10	84.32
56	80.6	78.3	75.6	77.6	27.20	25.10	84.32
57	80.5	78.1	75.5	77.5	27.20	25.10	84.32
58	80.7	78.2	75.5	77.7	27.15	25.00	83.95
59	80.1	77.8	75.2	77.2	27.10	25.00	84.29
60	80.2	77.9	75.2	77.2	27.10	25.00	84.29
61	80.2	77.9	75.2	77.1	27.10	25.00	84.29
62	80.1	77.7	75	77	27.20	25.00	83.61
63	80.2	77.9	75.2	77.2	27.10	25.00	84.29
64	80.1	77.8	75.1	77.1	27.20	25.00	83.61
65	80.2	77.9	75.3	77.2	27.20	25.05	83.96
66	80.4	77.9	75.3	77.4	27.20	25.05	83.96
67	79.9	77.6	75	76.9	27.30	25.10	83.64
68	80.2	77.8	75.2	77.1	27.30	25.10	83.64
69	80	77.6	74.9	76.8	27.40	25.10	82.96
70	79.9	77.4	74.7	76.6	27.40	25.10	82.96
71	79.4	76.9	74.2	76	27.50	25.10	82.29
72	79.1	76.6	73.9	75.7	27.50	25.10	82.29
73	64.2	64.5	62.9	61.5	26.90	23.50	75.09

74	65.4	65.3	63.6	62	26.90	23.50	75.09
75	65.8	65.7	63.7	61.9	26.90	23.40	74.40
76	65.1	65.5	63.5	61.8	26.80	23.40	75.04
77	66	66	63.9	61.7	26.70	23.20	74.30
78	64.3	64.7	63	60.7	26.50	22.70	72.14
79	64.3	64.5	62.4	60.7	26.30	22.50	72.02
80	63.3	63.6	61.6	59.8	26.15	22.35	71.94
81	63.6	63.8	61.6	60	26.10	22.40	72.60
82	63.8	64	61.9	60.1	26.10	22.30	71.91
83	63.1	63.5	61.4	59.6	26.00	22.20	71.85
84	63.1	63.5	61.5	59.6	26.00	22.20	71.85
85	63.9	64.2	62.1	60.2	26.00	22.10	71.16
86	63.6	63.9	61.8	59.9	25.95	22.10	71.48
87	63.9	64.2	62.2	60.2	26.00	22.10	71.16
88	64.3	64.5	62.5	60.5	25.90	21.95	70.76
89	63.3	63.7	61.8	59.6	25.90	21.90	70.42
90	63.7	64.1	62.1	59.8	25.80	21.80	70.36
91	62.7	63.3	61.5	59.3	25.70	21.60	69.61
92	62.8	63.3	61.6	59.4	25.60	21.60	70.23
93	63.3	63.7	61.7	59.6	25.60	21.50	69.54
94	63.5	63.8	61.9	59.8	25.60	21.50	69.54
95	63.2	63.8	61.9	59.7	25.50	21.50	70.17
96	63.4	63.7	62	59.7	25.50	21.40	69.48
97	63.2	63.5	61.6	59.6	25.70	21.90	71.67
98	69.1	68.4	66.1	64.7	26.30	23.20	76.87
99	72.7	71.6	69.1	68.4	26.60	23.60	77.72
100	73.8	72.6	70	69.7	26.80	23.90	78.50
101	74	72.8	70.2	70	27.00	24.00	77.90
102	73.2	72.2	69.5	69.5	27.20	24.10	77.29
103	70.7	70.1	67.7	67.5	27.50	24.10	75.38
104	69.3	69	66.8	66.4	27.50	23.90	74.04
105	67.8	67.7	65.6	65.1	27.50	23.80	73.36
106	67.9	67.7	65.4	64.8	27.50	23.80	73.36
107	67.1	67.2	65.2	64.5	27.50	23.70	72.70
108	66.5	66.7	64.5	64	27.50	23.70	72.70
109	66.1	66.2	64	63.6	27.60	23.70	72.09
110	62.4	63.2	61.5	60	24.8	21.4	73.97
111	63.5	63.6	61.8	60.2	24.8	21.4	73.97
112	63.3	63.6	61.8	60.4	24.8	21.4	73.97

113	63.8	64.3	62.4	60.7	24.7	21.4	74.63
114	63.4	63.8	62	60.5	24.7	21.4	74.63
115	63.4	63.7	61.9	60.4	25.1	21.6	73.42
116	64.6	64.9	63.1	61.9	25.75	22	72.05
117	64.2	64.8	62.9	62.1	26.05	22.3	72.22
118	64.3	65	63.2	62.1	26.2	22.6	73.34
119	64.4	65	63.1	62.2	26.3	22.7	73.40
120	64.9	65.2	63.3	62.6	26.4	22.8	73.45
121	65.4	65.6	63.7	63.1	26.4	22.8	73.45
122	65.3	65.4	63.4	62.7	26.5	22.85	73.16
123	64.8	65	63.2	62.5	26.5	22.85	73.16
124	71.3	70.2	67.7	68.2	26.95	23.9	77.53
125	72.9	71.4	68.9	69.5	26.9	23.9	77.85
126	73.3	71.9	69.3	70	26.9	24	78.55
127	73.4	72	69.4	70.2	26.9	23.9	77.85
128	73.3	71.9	69.3	70	26.9	23.9	77.85
129	72.8	71.5	68.9	69.7	26.9	23.8	77.16
130	70.6	69.7	67.3	67.9	26.9	23.6	75.77
131	69.5	68.7	66.3	66.9	26.9	23.6	75.77
132	68.8	68.2	65.9	66.3	26.9	23.5	75.09
133	68.4	67.9	65.5	66	26.85	23.4	74.72
134	68.1	67.5	65.2	65.5	26.9	23.4	74.40
135	68	67.5	65.1	65.5	26.9	23.3	73.72
136	67.6	67.2	64.9	65.1	26.9	23.1	72.37
137	67.8	68	66.1	65.1	26.8	23.4	75.04
138	67.7	67.5	65.1	65.3	26.8	23.4	75.04
139	68	67.6	65.3	65.5	26.7	23.3	74.99
140	67.8	67.6	65.2	65.5	26.7	23.4	75.68
141	68.8	68.3	66	66.2	26.8	23.4	75.04
142	68.6	68.3	65.9	66.3	26.75	23.5	76.05
143	69.7	69.2	66.7	67.1	26.8	23.55	76.07
144	70.5	69.7	67.2	67.7	26.8	23.6	76.42
145	70.6	69.8	67.3	67.7	26.8	23.6	76.42
146	70.3	69.6	67.2	67.6	26.8	23.6	76.42
147	71	70.1	67.6	68.2	26.8	23.7	77.11
148	71.2	70.4	67.8	68.3	26.8	23.65	76.76
149	69.3	68.6	66.4	66.3	23.9	21.1	77.89
150	69.6	68.8	66.6	66.6	23.9	21.1	77.89

151	70.7	69.7	67.4	67.6	24.8	21.8	76.86
152	72.9	71.5	69	69.7	25.15	22.2	77.39
153	72.8	71.6	69.1	69.7	25.4	22.4	77.15
154	72.8	71.5	69.1	69.7	25.5	22.5	77.20
155	72.7	71.5	69	69.7	25.6	22.6	77.25
156	73	71.8	69.3	70	25.7	22.7	77.30
157	73	71.8	69.4	70.1	25.7	22.8	78.01
158	73.2	72	69.4	70.1	25.75	22.85	78.03
159	72.8	71.6	69.2	70	25.8	22.9	78.06
160	73.1	71.8	69.3	70.1	25.8	22.9	78.06
161	72.7	71.5	69.1	69.9	25.9	22.9	77.39
162	73	71.6	69.2	69.9	25.9	23	78.10
163	73.5	72.1	69.6	70.4	25.9	23	78.10
164	73.2	71.9	69.4	70.2	25.9	23	78.10
165	73.3	72.1	69.5	70.3	26	23.1	78.15
166	73.3	72	69.5	70.4	26	23	77.44
167	53.2	53.9	53	53.9	26.5	21	60.94
168	52.9	53.6	52.7	53.7	26.6	20.9	59.75
169	52.8	53.5	52.6	53.6	26.6	20.8	59.12
170	52.3	53.1	52	53	26.6	20.7	58.49
171	52.2	53	51.9	52.9	26.6	20.8	59.12
172	52.7	53.5	52.4	53.3	26.7	20.8	58.57
173	52.1	52.8	51.8	52.8	26.7	20.85	58.89
174	52.1	52.8	51.9	52.8	26.6	20.7	58.49
175	51.2	52	51	52	26.6	20.55	57.55
176	50.9	51.8	50.6	51.8	26.6	20.5	57.24
177	50.4	50.6	50	51.4	26.6	20.45	56.93
178	50.3	51	50	51.3	26.6	20.5	57.24
179	50.2	50.9	49.9	51.1	26.8	20.5	56.18
180	50.8	51.7	50.5	51.7	26.9	20.6	56.27
181	50.3	51.3	50.1	51.3	27	20.8	56.97
182	50.9	52.1	50.7	51.9	27.2	21	57.15
183	51.7	52.7	51.5	52.6	27.3	21.2	57.85
184	52.4	53.1	52.2	53.1	27.4	21.5	59.16
185	53	53.6	53	53.8	27.5	21.6	59.24
186	53.4	54.5	53.4	54.1	27.6	21.8	59.94
187	53.9	54.5	53.9	54.5	27.6	21.8	59.94
188	54	54.5	53.8	54.5	27.6	21.8	59.94
189	53.7	54.2	53.5	54.2	27.6	21.75	59.63

190	53.6	54	53.5	54	27.7	21.9	60.02
191	54.1	54.7	54.1	54.7	27.75	21.9	59.75
192	53.8	54.4	53.8	54.4	27.7	21.9	60.02
193	53.6	54.1	53.5	54.1	27.8	21.9	59.49
194	54.1	54.7	54.1	54.7	27.8	22.2	61.33
195	54.9	55.3	55	55.3	27.8	22.2	61.33
196	54.6	55.1	54.7	55.1	27.8	22.1	60.71
197	54.2	54.7	54.2	54.7	27.85	22	59.83
198	53.8	54.4	53.8	54.4	27.9	22.1	60.18
199	54.8	54.7	54.3	54.7	27.9	22.2	60.79
200	54.4	54.9	54.5	54.9	28	22.3	60.87
201	55.1	55.5	55.3	55.5	28.1	22.5	61.56
202	55.7	56	55.8	56	28.1	22.7	62.79
203	56.3	56.5	56.5	56.5	28.2	22.75	62.56
204	56.1	56.3	56.3	56.3	28.2	22.8	62.87
205	56.7	57.3	56.8	56.8	28.25	22.9	63.21
206	56.7	57.3	56.9	56.8	28.3	22.9	62.94
207	58.2	61.2	60	59.7	31.0	25.9	66.54
208	57.4	60.6	59	58.8	31.3	26.1	66.13
209	57	60	58.4	58.3	31.6	26.2	65.14
210	56.3	59.2	57.5	57.6	31.5	26.1	65.08
211	56.3	59.3	57.5	57.6	31.5	26.1	65.08
212	56.2	59.2	57.4	57.5	31.4	26.1	65.60
213	56	58.9	57.2	57.2	31.5	26.2	65.66
214	64.1	64.7	62.7	63.2	29	24.5	69.01
215	64.5	64.9	62.9	63.5	28.9	24.45	69.27
216	64.2	64.7	62.7	63.2	29.1	24.6	69.07
217	65	65.3	63.2	63.9	29.3	24.7	68.56
218	63.7	64.3	62.4	62.9	29.2	24.65	68.81
219	63.5	64.1	62.1	62.5	29.15	24.5	68.16
220	63.7	64.3	62.2	62.6	29.2	24.5	67.88
221	61.9	62.9	61	61.2	29.2	24.4	67.26
222	62.1	63	60.9	61.2	29.1	24.3	67.19
223	61.2	62.5	60.5	60.5	29.1	24.2	66.57
224	63.3	63.9	61.8	62.1	29.1	24.2	66.57
225	65.3	65.5	63.2	63.8	29.1	24.3	67.19
226	64.5	64.9	62.7	63.3	29.4	24.8	68.62
227	63.1	63.8	61.7	62.2	30.2	25.2	66.65

228	62.2	63.1	61	61.3	30.1	25	65.98
229	60.9	62.1	60.2	60.3	30.1	24.9	65.38
230	61	62.2	60.1	60.3	30	24.7	64.72
231	60	61.2	59.3	59.6	30	24.65	64.42
232	59.8	61	59.2	59.5	29.9	24.6	64.65
233	59.9	61.2	59.2	59.5	30	24.55	63.82
234	59.8	61	59.1	59.4	29.9	24.5	64.05
235	59.6	60.9	58.8	59.2	29.8	24.6	65.19
236	60.4	61.7	59.8	60	29.75	24.5	64.86
237	61.6	62.5	60.4	60.8	29.6	24.35	64.76
238	60.9	62.1	60.1	60.4	29.5	24.3	64.99
239	61.6	62.6	60.4	60.8	29.3	24.15	65.17
240	60.7	61.9	59.9	60.1	29.2	24.3	66.64
241	55.2	56.9	53.9	54.5	32.1	24.85	55.20
242	52.8	54	51.3	52.5	32.5	24.9	53.66
243	49.6	50.6	47.9	49.5	32.6	25.1	54.27
244	50.8	52	49.4	50.7	33	25.3	53.54
245	51.8	53	50.5	51.9	32.9	25.3	53.98
246	51.1	51.9	49.6	51	33.6	25.4	51.48
247	46.9	47.7	45.4	47.5	33.9	25.3	49.74
248	48.6	49.5	47.2	49.2	35.3	25.9	47.09
249	47	47.6	44.8	47.7	35.4	26	47.18
250	45.9	47.1	44.3	47.2	35.3	25.7	46.16
251	42.6	43.2	41	44.2	34.5	25.7	49.26
252	47.8	49.6	46.7	48.8	34.3	26.3	53.03
253	50.9	52.1	49.9	52.7	33.6	26.3	56.07
254	50.5	52.1	50.7	52.7	33.1	26.1	57.28
255	53.9	55.9	53.2	54.4	33.4	26.4	57.50
256	53.2	54.1	52.3	53.7	33.6	26.2	55.55
257	53.6	54.5	52.3	53.5	33.8	26.1	54.16
258	83.5	80.6	77.7	78.8	26.3	24.5	86.24
259	80.1	78.3	75.6	76.9	25.8	24.4	89.10
260	84	81.4	78.4	79.7	26.2	24.5	86.95
261	82.4	80.3	77.4	78.8	25.8	24.4	89.10
262	85	82.4	79.2	80.7	26.4	24.6	86.26
263	83	80.8	77.8	79.5	26	24.4	87.64
264	84.7	82.1	78.9	80.6	26.6	24.5	84.13
265	82.3	80.2	77.2	79	26.2	24.4	86.21
266	83.8	81.3	78.2	79.9	26.9	24.5	82.08

267	81	79.2	76.2	77.9	26.7	24.3	82.00
268	82.9	80.3	77.3	78.7	26.8	24.5	82.76
269	80.9	79	76.1	77.6	26	24.3	86.89
270	83.7	81.3	78.1	79.6	26.6	24.4	83.41
271	80.8	78.9	76.1	77.6	26.2	24.1	84.00
272	82.1	79.7	76.8	78.2	26.3	24.1	83.30
273	81.3	79.3	76.5	77.9	26.4	24.1	82.61
274	81.3	79	76	77.4	26.2	24.1	84.00
275	81.6	79.6	76.7	78.2	26.6	24.3	82.69
276	80.2	78.1	75.3	76.7	25.9	24.1	86.12
277	83.1	80.6	77.5	78.9	26.9	24.4	81.37
278	78.8	77.2	74.5	75.8	25.6	23.9	86.79
279	84.4	81.5	78.2	79.5	25.8	23.9	85.35
280	83.3	81.4	78.2	79.9	26.2	23.9	82.54
281	66	67.4	65	64.5	29.2	25	71.02
282	64.9	66.5	63.9	63.5	29.1	25	71.60
283	65.1	66.8	64.5	64.4	29.1	25.1	72.24
284	65.4	67.1	64.7	64.8	29.5	25.2	70.56
285	65.2	66.9	64.7	64.3	29.7	25.3	70.04
286	65.1	66.8	64.6	63.9	29.8	25.3	69.47
287	63.6	65.7	63.5	62	30.2	25.5	68.47
288	62.5	64.8	62.5	60.5	30	25.4	68.97
289	61.6	64	61.9	60.7	29.9	25.2	68.30
290	62.2	64.5	62.4	61.6	30	25.2	67.74
291	61.7	64.1	62.1	61.3	30.3	25.3	66.71
292	61.1	63.6	61.4	59.8	30.5	25.3	65.64
293	59.2	61.6	59.7	58.8	30.4	25.1	64.98
294	63.4	64.4	62.3	60.9	31	25.6	64.77
295	61.9	63	59.9	59.2	31.2	25.7	64.31
296	61.2	62.5	59.8	59.1	31.4	25.7	63.29
297	59.5	61	58.3	58.1	31.3	25.5	62.65
298	58.4	60.3	58.1	57.6	31.3	25.5	62.65
299	58.3	60.4	58.2	57.7	31.4	25.6	62.71
300	57.3	60	58	57.2	31.9	25.8	61.35
301	56.2	59.5	57.3	55.3	32	25.9	61.41
302	57.1	59.6	57.3	54.7	32	25.7	60.30
303	56.5	57.8	56	53.6	32.3	25.7	58.86
304	56	57	55.1	52.8	32	25.7	60.30

305	56	56.9	55.2	53.6	31.5	25.7	62.78
306	57.5	59	57.3	56.6	31.2	25.6	63.73
307	58.6	60.4	58.6	58	31.3	25.5	62.65
308	59.2	61.1	59.4	58.7	30.8	25.5	65.23
309	59.6	61.4	59.4	58.6	30.8	24.4	58.87
310	59.4	61.6	59.2	58.5	30.8	24.4	58.87
311	59.5	61.2	59.3	58.7	30.5	25.3	65.64
312	59.9	61.8	59.8	59	30.6	25.3	65.10
313	60.3	61.9	59.9	59.1	30.6	25.4	65.70
314	60.3	62.2	60.2	59.4	30.9	25.5	64.71
315	60.8	62.5	60.6	59.7	31.2	25.8	64.89
316	60.2	62	60	59.2	31	25.7	65.36
317	60.9	62.5	60.6	59.6	31.2	25.5	63.15
318	58.8	60.4	58.4	57.9	31.4	25.6	62.71
319	60	61.9	59.7	58.7	31.3	25.7	63.80
320	58.5	60.3	58.4	57.8	31.2	25.5	63.15
321	59.1	61.1	58.9	58.1	31.4	25.7	63.29
322	59	60.9	58.9	58.2	31.9	25	56.93
323	79.8	74.3	70.7	70.9	23.2	19.9	73.77
324	73.8	71	68.8	68.9	23.2	20	74.52
325	73.1	70.5	68.7	68.8	23.3	20.1	74.58
326	72.4	69.6	67.8	67.4	23.5	20.2	73.95
327	77.7	73	69.6	68.9	23.4	20.2	74.63
328	90.7	83.5	79	80	21.1	19.8	88.74
329	91	84.2	79.7	80.9	21	19.9	90.41
330	91.8	85.6	80.8	82.4	21.1	20.1	91.29
331	91.5	85	80.6	82.1	21	20.1	92.12
332	91.2	84.5	80.1	81.5	20.9	19.9	91.24
333	91.4	84.8	80.2	81.8	20.9	19.8	90.39
334	90.8	84	79.7	81.2	21	19.9	90.41
335	90.7	83.8	79.2	80.7	21	19.8	89.56
336	87.6	83	78.9	81.3	21.5	19.8	85.52
337	85.5	81.1	77.4	79.4	21.6	20	86.38
338	79.7	75.5	72.4	73.3	22.5	19.8	77.95
339	80.9	76.6	73.1	74.2	22.9	20.3	78.92
340	83	78.1	74.5	75.8	23.1	20.7	80.56
341	82.7	77.9	74.3	75.6	23.2	20.7	79.83
342	83	78.1	74.5	76	23.35	20.9	80.28
343	83.3	78.2	74.6	76	23.45	20.9	79.56

344	81.4	76.7	73.1	74.4	23.4	20.7	78.40
345	79.9	75.2	72.4	71.9	23.7	20.7	76.29
346	79.2	75.2	72.7	72.1	23.9	20.9	76.40
347	75.9	72.7	70.4	70.1	23.8	20.6	74.86
348	74.1	71.4	69.2	68.9	23.8	20.4	73.39
349	72.5	70.2	68	67.6	23.6	20.1	72.54
350	72.2	70	67.8	67.3	23.8	19.8	69.04
351	81.2	76.2	71.7	72.3	23.9	20.6	74.18
352	82.8	77.9	72.8	73.6	23.8	21	77.84
353	85.1	79.2	74.9	75.9	23.7	21.2	80.06
354	84.9	80.4	75.8	76.9	23.8	21.4	80.86
355	86	80.7	75.9	77.2	24	21.6	80.95
356	86.1	81.2	76.3	77.8	24	21.7	81.71
357	86.2	82.7	77.7	79.7	24.3	22.3	84.11
358	88.7	82.7	77.6	79.3	24.4	22.2	82.62
359	86.9	82.5	77.5	79.2	24.4	22.2	82.62
360	88.1	83.2	78.1	80	24.3	22.2	83.34
361	82.4	79.2	75.6	77.2	24.2	21.7	80.28
362	78.7	75.4	72.6	73.4	23.3	20.5	77.59
363	77.5	74.3	71.7	72.2	23.1	20.2	76.73
364	87.9	83.6	79.6	81.6	21.7	20.3	88.06
365	89.3	84.8	80.7	83	22	20.8	89.80
366	90.3	86.5	81.9	84.6	22.2	21.2	91.51
367	90.5	86.9	82.5	85.1	22.4	21.4	91.55
368	91	88.1	82.1	85.9	22.4	21.6	93.21
369	90.8	87.7	82.2	86.3	22.4	21.6	93.21
370	91.2	88.6	82.3	87.1	22.45	21.7	93.64
371	91.9	89.5	83.2	88	22.5	21.3	89.92
372	92.3	90.1	83.1	88.2	22.5	22	95.74
373	93.6	90.4	83.3	88.9	22.6	22.1	95.75
374	94.7	90.8	83.6	89.6	22.6	22.1	95.75
375	93.8	90.3	83.4	87.6	22.4	21.7	94.05
376	94.5	90.5	83.6	88	22.3	21.7	94.88
377	93.9	90.1	83.1	87.6	22.3	21.6	94.04
378	94.1	90.3	83.9	88.4	22.3	21.7	94.88
379	94.7	90.6	83.8	88.1	22.3	21.7	94.88
380	89.5	83	77.8	80.7	22.3	20.3	83.37
381	90.3	84	78.9	82.2	22.6	20.7	84.29

382	90.8	85.4	78.7	82.1	22.8	21	85.15
383	91.8	86.9	80	83.2	23.2	21.5	86.08
384	92.5	88.6	80.7	84	23.3	21.8	87.70
385	84.4	79.9	74.6	76.4	23	20.8	82.07
386	82.8	78.4	73.9	75.9	22.7	20.2	79.60
387	84.9	80.2	75.2	77.4	22.8	20.3	79.65
388	87.4	81.8	75.9	78.1	22.9	20.7	82.03
389	90.9	85.7	78.1	80.6	23.1	21.2	84.46
390	91.5	86.8	78.6	81.2	23.4	21.6	85.35
391	91.4	87.5	79.1	81.5	23.6	21.8	85.42
392	90.4	85.2	77.5	79.9	23.8	21.8	83.93
393	89.7	83.8	76.7	79	23.6	21.7	84.64
394	90.1	84	77.1	79.3	23.6	21.6	83.86
395	90.1	83.8	77.1	79.4	23.8	21.7	83.16
396	89.6	84.5	77.7	79.3	23.9	21.7	82.43

Lampiran 2. Data Pengambilan Setelah Kalibrasi

<i>sequence</i>	RH DHT ₁ (%)	RH DHT ₂ (%)	RH DHT3 (%)	RH DHT4 (%)	TDB	TWB	RH ASTM
1	63.87	65.42	63.15	63.25	31.3	25.5	62.65
2	64.18	65.73	63.46	63.46	31.5	25.65	62.49
3	64.08	65.84	63.46	63.46	31.6	25.7	62.27
4	63.56	65.22	62.84	62.94	31.85	25.8	61.59
5	63.56	65.11	62.73	63.04	31.75	25.7	61.53
6	63.04	64.7	62.42	62.63	31.6	25.5	61.14
7	62.94	64.49	62.21	62.42	31.6	25.5	61.14
8	63.35	65.01	62.73	62.94	31.85	25.7	61.03
9	63.35	65.01	62.73	62.94	31.9	25.65	60.51
10	62.84	64.49	62.21	62.52	31.75	25.5	60.40
11	62.52	64.18	61.9	62.32	31.5	25.4	61.07
12	63.35	65.01	62.73	62.94	31.5	25.4	61.07
13	63.15	64.8	62.52	62.73	31.8	25.4	59.60
14	62.52	64.08	61.9	62.21	31.8	25.4	59.60
15	62.11	63.77	61.49	61.9	31.9	25.5	59.67
16	62.21	63.77	61.49	62.01	31.9	25.5	59.67
17	62.01	63.56	61.39	61.8	31.7	25.3	59.53
18	62.32	63.87	61.8	62.11	31.65	25.5	60.89
19	62.94	64.49	62.21	62.52	31.5	25.3	60.51
20	62.63	64.39	62.21	62.42	31.5	25.3	60.51

21	63.04	64.6	62.42	62.63	31.4	25.2	60.44
22	62.73	64.28	62.11	62.32	31.5	25.3	60.51
23	62.94	64.6	62.42	62.63	31.3	25.25	61.22
24	63.25	64.8	62.63	62.73	31.3	25.3	61.50
25	63.25	64.91	62.84	62.84	31.25	25.3	61.75
26	63.56	65.22	63.04	63.04	31.1	25.3	62.51
27	67.81	69.05	66.98	66.04	30	25.1	67.13
28	69.67	70.5	68.22	67.7	30.1	25.3	67.80
29	69.46	70.5	68.12	67.81	30.1	25.3	67.80
30	70.19	70.91	68.63	68.32	29.9	25.3	68.91
31	70.7	71.43	69.15	68.74	29.65	25	68.46
32	70.5	71.12	68.94	68.53	29.6	25	68.74
33	70.5	71.12	68.94	68.53	29.65	25	68.46
34	70.39	70.91	68.74	68.32	29.7	24.9	67.56
35	69.88	70.6	68.43	67.91	29.7	24.9	67.56
36	69.25	70.08	67.91	67.39	29.8	24.9	67.01
37	69.67	70.39	68.22	67.7	29.6	25	68.74
38	70.19	70.81	68.63	68.12	29.5	25	69.30
39	71.22	71.74	69.46	69.05	29.4	25	69.87
40	72.36	72.57	70.39	70.08	29.4	25.1	70.50
41	72.78	73.09	70.7	70.5	29.4	25.1	70.50
42	72.67	72.78	70.6	70.39	29.5	25.1	69.93
43	72.05	72.36	70.08	69.88	29.4	24.9	69.24
44	71.22	71.64	69.57	69.15	29.4	24.7	68.00
45	69.98	70.7	68.53	68.12	29.4	24.5	66.76
46	68.63	69.57	67.49	66.98	29.4	24.4	66.15
47	68.22	69.25	67.18	66.46	29.3	24.3	66.09
48	67.91	69.05	66.98	66.25	29.4	24.4	66.15
49	68.43	69.36	67.29	66.77	29.4	24.4	66.15
50	68.32	69.36	67.29	66.56	29.4	24.6	67.38
51	69.15	69.98	67.91	67.29	29.4	24.6	67.38
52	69.46	70.19	68.12	67.39	29.3	24.4	66.70
53	69.05	69.77	67.81	67.18	29.3	24.5	67.32
54	69.46	70.29	68.22	67.6	29.2	24.5	67.88
55	70.5	71.01	68.84	68.32	29.2	24.6	68.50
56	70.81	71.22	69.05	68.63	29.1	24.8	70.33
57	72.78	72.88	70.6	70.29	29.2	24.8	69.76
58	72.46	72.67	70.5	70.19	29	25	72.19

59	74.64	74.33	72.15	71.95	29	25.1	72.84
60	75.36	74.95	72.67	72.67	29	25.1	72.84
61	75.88	75.26	73.09	73.09	29	25.1	72.84
62	78.26	77.12	74.74	75.05	28.5	25.2	76.53
63	79.82	78.26	75.98	76.3	28.6	25.2	75.91
64	79.71	78.26	75.88	76.3	28.5	25.2	76.53
65	80.23	78.68	76.3	76.71	28.5	25.2	76.53
66	80.33	78.68	76.3	76.81	28.5	25.2	76.53
67	80.02	78.47	76.09	76.5	28.4	25	75.81
68	79.4	77.95	75.67	75.98	28.3	25	76.44
69	79.71	78.26	75.88	76.3	28.4	25	75.81
70	79.19	77.85	75.47	75.78	28.4	24.8	74.49
71	77.85	76.81	74.43	74.74	28.4	24.7	73.83
72	77.02	76.09	73.81	74.02	28.2	24.6	74.39
73	77.23	76.19	74.02	74.22	28.2	24.7	75.05
74	78.47	77.12	74.95	75.26	28.3	24.7	74.44
75	77.74	76.61	74.33	74.64	28.3	24.7	74.44
76	77.54	76.4	74.22	74.54	28.2	24.7	75.05
77	77.54	76.4	74.22	74.43	28.1	24.6	75.01
78	78.16	76.92	74.74	74.95	28.1	24.55	74.67
79	78.26	77.02	74.74	75.05	28.05	24.6	75.32
80	78.26	77.12	74.85	75.16	28.1	24.6	75.01
81	78.37	77.23	74.95	75.16	28.1	24.6	75.01
82	78.47	77.12	74.85	75.26	28.1	24.7	75.67
83	79.19	77.74	75.47	75.88	28.1	24.8	76.34
84	79.61	78.06	75.78	76.19	28.15	24.75	75.70
85	79.4	77.85	75.57	75.88	28.15	24.75	75.70
86	79.3	77.85	75.57	75.98	28.1	24.7	75.67
87	79.09	77.74	75.47	75.78	28.1	24.7	75.67
88	82.51	80.44	78.06	78.68	28	25	78.33
89	82.51	80.33	77.95	78.68	27.9	24.9	78.29
90	82.2	80.13	77.74	78.47	27.9	24.8	77.61
91	82.4	80.33	77.85	78.57	27.9	24.9	78.29
92	82.61	80.44	78.06	78.78	27.9	24.9	78.29
93	82.4	80.33	77.95	78.57	27.9	24.9	78.29
94	83.03	80.75	78.37	78.99	27.8	24.9	78.93
95	82.2	80.13	77.74	78.37	27.8	24.8	78.24
96	81.89	79.82	77.43	77.95	27.9	24.7	76.93
97	80.95	79.09	76.81	77.33	27.9	24.7	76.93

98	81.89	79.82	77.54	78.16	27.8	24.7	77.56
99	82.3	80.13	77.74	78.47	27.8	24.7	77.56
100	82.09	80.13	77.74	78.26	27.8	24.7	77.56
101	82.09	80.02	77.54	78.26	27.7	24.7	78.20
102	82.3	80.23	77.74	78.47	27.7	24.6	77.52
103	82.2	80.13	77.74	78.37	27.7	24.7	78.20
104	82.09	79.92	77.54	78.26	27.7	24.6	77.52
105	82.09	80.02	77.54	78.37	27.7	24.55	77.18
106	81.89	79.82	77.43	78.06	27.7	24.6	77.52
107	81.99	79.82	77.54	78.16	27.6	24.5	77.47
108	80.95	78.99	76.71	77.23	27.7	24.4	76.16
109	81.47	79.51	77.23	77.74	27.6	24.4	76.79
110	81.16	79.3	76.92	77.54	27.5	24.4	77.43
111	81.47	79.4	77.02	77.74	27.5	24.3	76.74
112	81.47	79.4	77.02	77.74	27.5	24.3	76.74
113	82.51	80.23	77.95	78.47	27.4	24.3	77.38
114	82.2	79.92	77.64	78.26	27.4	24.3	77.38
115	82.09	79.92	77.64	78.26	27.4	24.3	77.38
116	82.3	80.02	77.64	78.26	27.4	24.3	77.38
117	82.3	80.02	77.74	78.26	27.5	24.4	77.43
118	82.09	79.82	77.43	78.06	27.5	24.4	77.43
119	82.09	79.82	77.43	78.16	27.5	24.4	77.43
120	81.99	79.82	77.43	78.06	27.55	24.4	77.11
121	81.89	79.61	77.33	77.95	27.6	24.5	77.47
122	82.4	80.02	77.64	78.37	27.6	24.6	78.16
123	82.4	80.13	77.74	78.37	27.7	24.4	76.16
124	80.75	78.68	76.5	77.02	27.8	24.3	74.86
125	79.61	77.74	75.47	75.98	27.9	24.3	74.24
126	78.57	77.12	74.74	75.16	28	24.4	74.29
127	78.57	77.02	74.74	75.16	28.1	24.4	73.68
128	79.3	77.64	75.47	75.88	28.4	24.8	74.49
129	79.4	77.74	75.47	75.98	28.4	24.8	74.49
130	79.51	77.85	75.47	76.09	28.45	24.9	74.84
131	79.71	78.06	75.88	76.3	28.5	25	75.20
132	79.71	77.95	75.78	76.3	28.6	24.9	73.93
133	78.99	77.43	75.26	75.67	28.65	24.9	73.63
134	78.16	76.71	74.54	74.95	28.65	24.8	72.98
135	77.33	76.09	74.02	74.33	28.7	24.7	72.03

136	76.61	75.47	73.4	73.6	28.8	24.7	71.44
137	75.78	74.85	72.78	72.98	28.6	24.7	72.63
138	75.16	74.43	72.36	72.46	28.8	24.9	72.73
139	77.43	76.19	74.12	74.43	28.8	24.7	71.44
140	76.09	75.16	72.88	73.19	28.8	24.7	71.44
141	75.05	74.22	72.15	72.26	28.8	24.6	70.80
142	74.12	73.5	71.53	71.53	28.9	24.5	69.58
143	73.71	73.19	71.22	71.12	28.9	24.3	68.32
144	71.43	71.43	69.46	69.25	29	24.2	67.13
145	70.91	71.01	69.05	68.84	29	24.2	67.13
146	71.33	71.33	69.36	69.05	29	24.2	67.13
147	71.12	71.12	69.15	68.94	29.1	24.2	66.57
148	70.6	70.7	68.84	68.53	29.1	24.1	65.96
149	69.67	70.08	68.22	67.81	29.1	24.15	66.26
150	69.36	69.88	67.91	67.39	29.1	24.05	65.65
151	68.32	68.94	67.18	66.56	29.2	24.1	65.41
152	68.94	69.57	67.7	67.18	29.3	24.1	64.86
153	67.6	68.43	66.67	66.04	29.2	24.1	65.41
154	67.81	68.53	66.77	66.15	29.4	24.1	64.32
155	67.49	68.43	66.56	65.84	29.4	24	63.72
156	66.46	67.6	65.84	65.22	29.4	24.3	65.54
157	68.32	69.05	67.08	66.56	29.3	24.5	67.32
158	66.46	67.6	65.73	65.22	29.6	24.1	63.25
159	65.73	67.08	65.32	64.8	29.6	24	62.65
160	65.22	66.56	64.91	64.49	29.6	23.9	62.06
161	64.39	65.73	63.97	63.66	29.6	23.8	61.46
162	64.6	65.94	64.08	63.87	29.7	23.8	60.95
163	64.08	65.32	63.46	63.46	29.7	23.7	60.36
164	63.25	64.49	62.63	62.84	29.7	23.6	59.77
165	62.42	63.66	61.8	62.11	29.8	23.7	59.85
166	62.84	63.97	62.11	62.32	29.9	23.7	59.34
167	62.21	63.35	61.49	61.8	30	23.5	57.69
168	61.49	62.63	60.66	61.18	30	23.5	57.69
169	61.07	62.32	60.25	60.87	30	23.4	57.12
170	60.56	61.7	59.63	60.35	30	23.5	57.69
171	61.07	62.32	60.25	60.87	30.1	23.3	56.07

Lampiran 3: *Datasheet* DHT22

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +5%RH); temperature <+-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH; temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+0.3%RH
Long-term Stability	+0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

(Liu)

