

**LAPORAN PENELITIAN
HIBAH BERSAING DP2M DIKTI
TAHUN ANGGARAN 2012**



***SMART ANEMOMETER* BERBASIS PTC-SENSOR
UNTUK MENGUKUR KECEPATAN
DAN SUDUT VEKTOR ALIRAN UDARA**

**Dr. Lazuardi Umar
Rahmondia NS, M.Si**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
FMIPA UNIVERSITAS RIAU
DESEMBER 2012**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Smart Anemometer Berbasis PTC-Sensor Untuk Mengukur Kecepatan Dan Sudut Vektor Aliran Udara
2. Ketua Peneliti
 - a. Nama Lengkap : Dr.-Ing. Lazuardi Umar, M.Si
 - b. Jenis Kelamin : L
 - c. N I P : 196909041997021001
 - d. Jabatan Struktural : Dosen Fisika FMIPA UNRI
 - e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - f. Fakultas / Jurusan : FMIPA / Fisika
 - g. Pusat Penelitian : Lembaga Penelitian Universitas Riau
 - h. Alamat : Kampus Bina Widya Jl. Prof. Dr. Muchtar Lutfi Sp. Baru Pekanbaru 28293
 - i. Telpon / Fax : (0761) 63273 / 63279
 - j. Alamat Rumah : Jl. Kembang Harapan no. 17 Pekanbaru 28132
 - k. Telpon / Fax / E-mail : (0761) 63273 / 63279 / lazuardiumar@yahoo.com
3. Jangka Waktu Penelitian : 10 bulan
4. Pembiayaan
 - a. Jumlah biaya yang diajukan ke Dikti : Rp. 50.000.000,-
 - b. Jumlah biaya tahun ke-2 (2012) : Rp. 42.500.000,-

Mengetahui
Dekan FMIPA UNRI

Pekanbaru, 21 Desember 2012
Ketua Peneliti,

Prof. Dr. Adel Zamri, MS DEA
NIP. 195912201986031005

Dr.-Ing. Lazuardi Umar, M.Si
NIP. 196909041997021001

Menyetujui
Ketua Lembaga Penelitian

Prof. Dr. Usman M. Tang, MS
NIP. 196405011989031011

RINGKASAN

Penelitian ini (2011-2012) telah mengembangkan suatu anemometer berbasis sensor suhu *positive temperature coefficient* (PTC-thermistor) untuk mengukur kecepatan udara (airflow) yang diatur pada konfigurasi tunggal dan dipergunakan untuk mengukur sudut vektor arah aliran udara mempergunakan konfigurasi tiga elemen sensor identik membentuk sudut tertentu dalam medan aliran udara asimetris.

Sensor suhu PTC merespon perubahan kondisi pendinginan eksternal akibat aliran udara yang akan menggeser kurva karakteristik arus dan tegangan (I-U) characteristic, dan juga tahanan termalnya R_W sebagai fungsi kecepatan fluida. Tahanan termal ditentukan oleh pemodelan kurva sensor I(U) pada kondisi tertentu seperti ketika $v = 0$ m/s, dan mengoreksi data pengukuran pada saat $v \neq 0$ m/s.

Hasil pengamatan sensor pada beberapa kecepatan rendah pada suhu 23°C berkisar antara 0 to 3,5m/s memberikan variasi tahanan termal R_W dari 350 K/W ke 143,5 K/W berturut-turut dengan kesalahan relative pemodelan sebesar 1,3%. Selama pengoperasian, semua parameter sensor yang berubah dengan waktu dimonitoring dan dikalibrasi ulang berdasarkan model ini.

Disamping itu akan dikembangkan sifat *smart* dimana sensor dapat memonitor (*self-monitoring*) penurunan kemampuan mendeteksinya akibat terbentuknya deposit pada permukaan elemen melalui eksperimen simulasi pengkerakan. Untuk memastikan sensor bekerja dengan baik dalam waktu yang lama (*long time stability*) maka diperlukan telah diamati perubahan parameter model sensor sebagai fungsi dari waktu (*ageing*) sehingga dapat diperkirakan lama operasi sebelum mengalami kerusakan (*mean time before failure*). Kedua prosedur ini menghasilkan model matematis yang memberikan input untuk algoritma deteksi dalam memberikan keputusan; sensor harus dibersihkan atau diganti.

Untuk meningkatkan kehandalan sistem pengukuran maka hasil penelitian ini akan diimplementasikan dengan mikrokontroler dari keluarga mikrokontroler AT Mega 8535. Penggunaan mikrokontroler yang dilengkapi algoritma pengolahan sinyal akan memungkinkan suplai arus dan tegangan terkontrol ke sensor, akuisisi data perubahan arus dan tegangan sensor mempergunakan ADC built-in dan komunikasi data ke PC melalui serial bus RS232. Dari prosedur pengolahan data akan ditentukan kecepatan dan arah udara.

Dari hasil penelitian ini diperoleh suatu prototipe smart anemometer sensor yang handal, kompak dan biaya rendah berbasis mikrokontroler, yang dapat dipergunakan untuk mengukur kecepatan dan sudut vektor aliran udara. Sebagai tambahan, penggunaan mikroprosesor berbiaya rendah akan meningkatkan linearitas dan kemampuan *interchangeability* sensor dalam proses kalibrasi.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanawata'ala atas limpahan Rahmat serta Karunia Nya, sehingga kegiatan penelitian yang berjudul Smart Anemometer Berbasis PTC-Sensor Untuk Mengukur Kecepatan Dan Sudut Vektor Aliran Udara telah dapat diselesaikan dalam bentuk laporan penelitian untuk tahun yang kedua 2012 ini.

Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia, yang telah memberikan bantuan dana penelitian Hibah Bersaing tahun 2012 yang disalurkan melalui dana DIPA perguruan tinggi Universitas Riau tahun 2012.

Terimakasih juga disampaikan kepada Tim Reviewer proposal Hibah Bersaing yang telah berkenan menilai proposal secara objektif beserta saran-saran yang diberikan untuk kesempurnaan penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat terwujud. Kepada anggota Peneliti dan Mahasiswa yang membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, tidak lupa dihaturkan penghargaan yang setinggi-tingginya.

Pekanbaru, Desember 2012

Peneliti

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	8
BAB IV METODE PENELITIAN	11
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	17
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	47
ARTIKEL ILMIAH	49

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 5.1. Data teknis sensor suhu PTC	21
Tabel 5.2. Nilai parameter-parameter sensor pada berbagai kecepatan udara. Sensor diukur pada suhu T_M 30 °C.	28
Tabel 5.3. Pengukuran sudut vektor aliran udara pada $v = 4,6$ m/s	33
Tabel 5.4. Nilai Parameter Sensor Setelah Minggu ke-3	34
Tabel 5.5. Dasar Penentuan Program Sudut Vektor Aliran Udara	38

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1.	Tahanan sensor PTC-thermistor sebagai fungsi suhu (R_T - T characteristics)	4
Gambar 2.2.	Pengukuran sensor suhu thermistor PTC mempergunakan (a) sumber arus konstan dan (b) sumber tegangan konstan dalam rangkaian pembagi tegangan	7
Gambar 4.1.	Rangkaian untuk mengkalibrasi sensor PTC thermistor	13
Gambar 4.2	Susunan sensor: tiga elemen sensor suhu PTC-thermistor ditempatkan pada sudut tertentu pada bidang alir silindris	14
Gambar 4.3.	Gambar 4.3. Rangkaian Kalibrasi Karakteristik Elektris 3 Sensor PTC.	15
Gambar 4.4.	Simulasi proses penuaan sensor (ageing) dengan memberikan perlakuan tegangan secara kontinyu untuk melihat perubahan karakteristik sensor sebagai fungsi waktu	16
Gambar 5.1.	Muka hisap dari kanal udara	17
Gambar 5.2.	Kanal udara dengan variasi kecepatan aliran	18
Gambar 5.3.	(a) Posisi sensor pada keluaran dari kanal udara mini dan (b) bentuk reflektor penyearah aliran	18
Gambar 5.4.	Posisi sensor suhu dan anemometer tangan pada keluaran turbin udara pada (a) dan kalibrator otomatis pada (b)	19
Gambar 5.5.	Profil kecepatan aliran dari kanal udara mini	20
Gambar 5.6	Sensor tipe RS Cat. yang akan diuji karakteristiknya dengan rumahan logam (stainless steel).	20
Gambar 5.7.	Set up pengambilan data karakterisasi sensor	21
Gambar 5.8.	Pengukuran statis sensor suhu PTC	22
Gambar 5.9.	Grafik Karakterisasi Sensor Pada Suhu 40°C	22
Gambar 5.10.	Grafik Karakterisasi Sensor Pada Suhu 50°C	23
Gambar 5.11.	Grafik Karakterisasi Sensor Pada Suhu 60°C	23
Gambar 5.12.	Grafik Karakterisasi Sensor dengan Variasi Suhu Lingkungan	24
Gambar 5.13	Karakteristik sensor pada berbagai kecepatan aliran udara dan pada daerah pemodelan. Tahanan termal akan menurun akibat kenaikan kecepatan aliran udara	25
Gambar 5.14.	Diagram alir dari proses iterasi pemodelan kurva $I(U)$ sensor	27
Gambar 5.15	(a) Pemodelan kurva $I(U)$ menurut persamaan kesetimbangan sensor PTC. Sensor dikalibrasi pada udara tenang ($v = 0$ m/s) dengan suhu lingkungan sebesar 23°C, dan (b) kesalahan relative pemodelan	28
Gambar 5.16	Variasi jumlah sensor, dimensi dan bentuk inti halang cakram ukur	29
Gambar 5.17	Bentuk dan dimensi dari (a) cakram ukur untuk dudukan 3 sensor PTC yang tersusun identik	30
Gambar 5.18	Papan PCB untuk pengolah isyarat sensor	30
Gambar 5.19	Variasi tegangan keluaran sensor pada $v = 4,6$ m/s konstan	31
Gambar 5.20	Pengaruh kecepatan udara pada sensor 1	32

Gambar 5.21	Pengaruh kecepatan udara pada sensor 2	32
Gambar 5.22	Pengaruh kecepatan udara pada sensor 3	33
Gambar 5.23	Kurva I(V) dari 3 sensor RS yang identik yang memperlihatkan drift akibat mengalami rekristalisasi pada proses uji long time stability	34
Gambar 5.24.	Blok diagram sistem akuisisi data berbasis ATmega 8535	35
Gambar 5.25	Papan PCB yang telah dirakit untuk akuisisi data	36
Gambar 5.26	Proses pemrograman mikroprosesor mempergunakan kompuler	36
Gambar 5.27	Program akuisisi data dengan ADC dari mikrokontroler 8535	37
Gambar 5.28	Tampilan sementara keluaran ADC 1-3	37
Gambar 5.29	Diagram alir program mikrokontroler	40
Gambar 5.30	ISP Port Kabel Target, (b) Tata Letak Port DU-ISP V4	41
Gambar 5.31	Hasil Pembacaan Mikrokontroler Melalui Hyperterminal	41
Gambar 5.32	Pengaturan Port Serial Pada Display	42
Gambar 5.33	Tampilan Akhir Akuisisi Data	43

BAB I. PENDAHULUAN

Pengukuran kecepatan aliran udara (anemometer) telah banyak dipergunakan seperti untuk memonitor aliran udara dari suatu unit filter HVAC (*heating-ventilating air conditioner*), mengukur kecepatan aliran udara pada suatu daerah kritis seperti pada lingkungan mini dan juga dapat dipergunakan untuk menentukan arah aliran udara yang merupakan hal yang krusial di ruang bebas debu (*clean room*). Aplikasi lainnya adalah untuk mengontrol cerobong asap dan stasiun cuaca airport. Ruang operasi dan isolasi pada rumah sakit harus mempunyai aliran udara pada arah yang tepat untuk menghindari pasien dan lingkungan dari infeksi penyakit.

Di Indonesia, aplikasi sensor anemometer/airflow dipergunakan utamanya untuk monitoring kecepatan angin di stasiun cuaca dan airport, mengontrol aliran udara di mesin pengering hasil-hasil pertanian dan perikanan. Kebanyakan aplikasi sangat membutuhkan anemometer dengan harga rendah, dimensi kecil, dan bebas dari perawatan. Namun sensor airflow dengan teknologi terakhir seperti sensor anemometer yang dilengkapi fitur smart mempunyai harga relatif mahal di pasaran.

Salah satu metode tradisional yang banyak dipergunakan adalah anemometer *hot wire* dan anemometer propeler (baling-baling). Kedua metode ini mengharuskan penggunaannya untuk melakukan hanya satu pengukuran pada setiap waktu. Seperti dijelaskan pada [Andrews et al, 1972, Bradshaw, 1968] bahwa sensor anemometer mempergunakan hot-wire memberikan sinyal linear yang baik dengan sifat pengulangan yang wajar dan waktu respon yang cepat. Namun demikian, sensor hot-wire mempunyai beberapa kekurangan yaitu sifat rapuh hot-wire sering menyebabkan kehilangan faktor kalibrasi atau kerusakan fisik yang dapat terjadi jika sensor terjatuh mendadak.

Sensor *suhu positive temperature coefficient* (PTC)-thermistor berselubung gelas telah lama dipergunakan dalam bidang aplikasi medis. Kelebihan penggunaan sensor PTC adalah sifat kekuatan, kehandalan, akurasi dan waktu pengujian yang singkat. Dimensi sensor yang mini memberikan fleksibilitas untuk pengukuran pada tempat kecil serta harga yang relatif murah dibandingkan hot-wire memberikan peluang sebagai pengganti anemometer hot wire konvensional. Sensor PTC-thermistor yang dipergunakan untuk mengukur kecepatan dan sudut aliran udara jika dirancang dengan teknologi terakhir akan mempunyai beberapa fitur unik jika dibandingkan dengan sensor airflow tipe lainnya [Raouf Ismail, 1999] seperti sifat *interchangeability* dimana masing-masing sensor kompatibel dengan sensor lainnya, sinyal sensor lebih besar daripada sensor hot-wire,

masing-masing sensor PTC secara matematis dapat dimodelkan dan mempunyai geometri yang kecil untuk fleksibilitas pengukuran.

Penggunaan anemometer yang luas di Indonesia tidak terbatas aplikasinya untuk cuaca, airport, industri dan aplikasi di bidang medis tetapi juga diperlukan dibidang pertanian dan perikanan seperti mengontrol aliran udara di mesin pengering hasil-hasil pertanian dan perikanan. Dewasa ini terdapat berbagai metode pengukuran kecepatan aliran udara (airflow) seperti metode termal, mekanis (rotor) atau ultrasonik dengan harga yang relatif mahal dan umumnya hanya dapat mengukur kecepatan aliran udara. Sementara untuk mengukur sudut arah aliran udara memerlukan penambahan peralatan ekstra dengan biaya tambahan yang tidak sedikit. Pada bidang aplikasi dimana toleransi pengukuran bukanlah sesuatu hal yang kritis maka anemometer dengan kemampuan handal dengan harga rendah, bebas biaya perawatan merupakan suatu kebutuhan.

Pada penelitian tahun pertama (2011) ini akan dilakukan karakterisasi awal sensor suhu PTC yang dipergunakan sebagai detektor kecepatan dan sudut vektor aliran udara serta dimodelkan secara matematis untuk memperoleh fungsi transfer dari sensor. Kemudian dilakukan awal penelitian jangka panjang untuk mengamati perubahan karakteristik elektrik sensor akibat pengaruh eksternal. Dari hasil pengamatan ini akan diperoleh beberapa karakteristik sensor yang akan diterapkan pada sistem dan algoritma deteksi pada penelitian tahun ke dua.

Berdasarkan hal tersebut maka dari penelitian ini diharapkan dihasilkan suatu anemometer sensor yang dapat dipergunakan untuk mendeteksi kecepatan dan arah vektor aliran udara yang handal, kokoh dan biaya murah yang dilengkapi fitur "smart" oto-monitoring, bebas biaya perawatan sehingga meningkatkan kehandalan dan akurasi sepanjang pengoperasiannya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa penelitian telah dilaporkan dalam hubungannya dengan aplikasi sensor PTC untuk mendeteksi aliran udara seperti dalam [Makinwa, K. et al, 2002], yang mempergunakan sensor airflow pintar berdasarkan teknik modulasi sigma delta. Beberapa laporan riset terkini dalam [Prosser et al, 1999] telah memperlihatkan bahwa instrument deteksi telah dilengkapi dengan fungsi "smart" dan beberapa kemampuan terbatas untuk mendiagnosa. Kegagalan fungsi biasanya akan dapat dideteksi oleh pengguna melalui sinyal keluaran yang menyimpang dari spesifikasi operasinya.

II.1. Sensor Suhu Positive Temperature Coefficient (PTC)

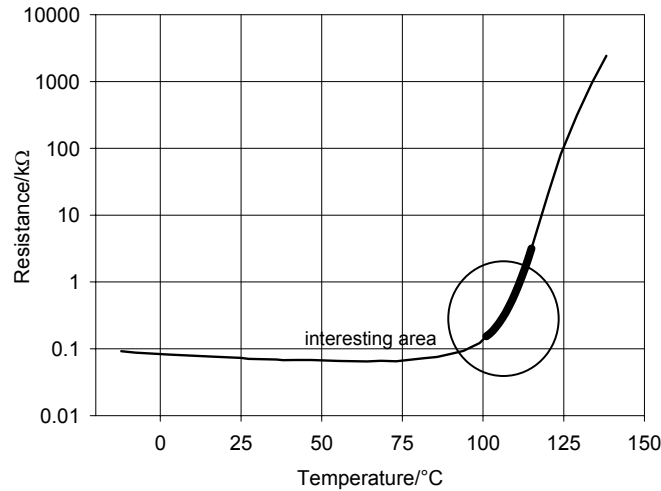
Dewasa ini terdapat banyak penggunaan komersial sensor PTC thermistor yang berdasarkan karakteristik tahanan-suhu ($R-T$). Salah satu dari aplikasi yang mempergunakan karakteristik tahanan-suhu adalah aplikasi sensor PTC thermistor sebagai proteksi pengisian (overfill protection) cairan di dalam bejana yang bekerja dengan mengevaluasi perubahan tahanan listrik dari thermistor R_T sebagai fungsi suhu lingkungan T_M (Roth, 2000; VDI 3519, 2002).

Umumnya aplikasi PTC thermistor adalah berdasarkan kondisi *steady state self-heated*. Jika tegangan catu konstan maka daya listrik yang melalui thermistor sensor adalah setara dengan panas yang terdisipasi dari permukaan sensor (*self-heated*) ke lingkungannya [Heywang, 1964; Feustel, 1982]. Kuantitas disipasi panas dari sensor tergantung pada tahanan thermal R_W dari sensor yang berada pada lingkungan tertentu. Pada kondisi dimana suhu medium lebih tinggi dibandingkan suhu sensor sendiri, pertukaran panas antara sensor dan medium sekelilingnya menjadi kurang efisien sehingga menggeser titik kerja sensor dalam mendeteksi adanya cairan di dalam bejana. Hal ini akan menyebabkan kegagalan dalam mendeteksi cairan.

Dalam pengoperasiannya, sensor akan mengalami degradasi mutu pengukuran yang ditandai oleh perubahan parameter sensor. Umumnya, parameter tersebut diperoleh dengan mengkarakterisasi kurva tahanan sebagai fungsi dari suhu di sekelilingnya atau kurva ($R-T$) sensor. Namun, metode yang dipergunakan untuk memodelkan kurva ($R-T$) untuk memperoleh parameter model sensor memerlukan waktu yang lama serta diperlukan suhu konstan sepanjang pengukuran. Oleh karena itu diperlukan solusi masalah di atas dengan pemodelan kurva arus tegangan untuk menentukan parameter sensor serta juga dapat menentukan kopling termal R_W antara sensor dan medium sekitarnya.

Sensor suhu PTC dibuat dari semikonduktor yang didoping dengan donor Barium Titanate ($BaTiO_3$) akan memperlihatkan anomali kenaikan sensitivitas pada

suhu Curie T_C . Karakteristik khas sensor, R_T dalam udara tenang sebagai fungsi suhu PTC, T (kondisi unloaded) diperlihatkan dalam gambar 2.1.



Gambar 2.1. Tahanan sensor PTC-thermistor sebagai fungsi suhu (R_T - T characteristics)

Pada suhu rendah, tahanan dari PTC akan rendah disebabkan oleh the grain resistivity dan penurunan tipis terhadap suhu. Jika suhu T naik dan mencapai T_C , maka resistivitas ρ_S dalam grain boundary akan meningkat secara drastis [Al-Allak, 1989, Mallick et al 1968, Veijola, 1998]. Nilai resistivitas ρ_S dari material di atas suhu Curie bergantung secara signifikan pada potential barrier ϕ dalam wilayah grain-boundary [Otto, 2002]

$$\rho_S = \rho_0 e^{\left(\frac{e\phi}{kT}\right)} \quad (2.1)$$

dimana ρ_0 adalah konstanta, e muatan elektron dan k adalah konstantan Boltzmann. Potensial barrier untuk tegangan kecil adalah

$$\phi_0(\phi_0, T) = \frac{en_s^2}{8\epsilon_0 \epsilon_{gb}(T)N_D} \quad (2.2)$$

dimana n_s adalah densitas elektron tertangkap pada grain boundaries, N_D kosentrasi muatan pembawa, ϵ_0 permittivity free space dan $\epsilon_{gb}(T)$ adalah relative permittivity dari grain-boundary region. Di atas suhu T_C , akan mengikuti hukum the Curie-Weiss Law

$$\epsilon_{gb}(T) = \frac{C}{T - T_C} \quad (2.3)$$

dimana C adalah konstanta Curie, $C = 1,2 \cdot 10^5$.

Resistivitas grain-boundary dari sensor PTC thermistor, ditentukan dari persamaan (2.1-2.3), menghasilkan persamaan berikut yang memperlihatkan koefisien suhu material

$$\rho_s = \rho_0 e^{\frac{const. \cdot T - T_c}{kC \cdot T}} + \rho_{gr} \quad (2.4)$$

Karakteristik dari tahanan termistor diukur sebagai fungsi dari suhu (R_T - T characteristic). Untuk aplikasi praktis maka persamaan yang menggambarkan karakteristik PTC thermistor dapat diperlihatkan sebagai berikut [Horn et al, 2002]

$$R_T(T) = R_{T_0} e^{b(T-T_0)} \quad (2.5)$$

dengan b – koefisien suhu, R_{T_0} – tahanan pada suhu spesifik T_0 . Parameter ini akan mengalami perubahan pada pengoperasian sensor sebagai level sensor dan harus dimonitoring secara kontinyu. Parameter-parameter model tersebut memperlihatkan karakteristik sensor PTC selama pengoperasian dan mutlak ditentukan.

Seperti dijelaskan oleh Lazuardi [2005] bahwa untuk menentukan tahanan termal maka sensor diberi arus searah untuk memberikan efek *self-heating*. Pada kondisi ini, sensor menjadi panas oleh arus i yang melewatinya. Kurva $I(U)$ dari sensor menyatakan titik-titik kesetimbangan antara daya tistrik yang dibutuhkan dengan daya thermal yang didisipasikan ke lingkungan dan dinyatakan dengan persamaan (2.6) berikut ini:

$$U_T^2 \cdot \left(R_{T_0} \cdot e^{B \left(\frac{T_S - T_C}{T_S} \right)} + R_0 \right)^{-1} = \frac{(T_S - T_M)}{R_W} \quad (2.6)$$

dimana R_W adalah tahanan thermal (K/W), T_S suhu sensor (K), T_M suhu lingkungan (K) dan U_T tegangan pada sensor (V).

Untuk memperoleh parameter-parameter model dari persamaan (2.5) maka kurva $I(U)$ dimodelkan berdasarkan persamaan (2.6) di atas dalam suatu sistem persamaan non linear. Parameter-parameter model ini menyatakan kondisi stabilitas dari sensor, terutama harga tahanan nominal R_{T_0} dan nilai koefisien suhu B . Bagian ini secara teknologi dipengaruhi oleh cacat produksi dan diproduksi dengan nilai toleransi tertentu [Feustel et al, 1982, Wood, 1978]. Tiap sensor memiliki karakteristik tersendiri sehingga harus dikalibrasi.

Pengaruh lingkungan berupa dampak fisika dan kimia pada sensor diterima komponen elektronik sebagai pembebanan yang mengakibatkan perubahan fisis seperti efek penuaan (*aging*). Dampak fisis ini dihasilkan dari perubahan struktur keramik dari bahan sensor, perubahan susunan molekul atau perubahan

keadaan kosentrasi dari komponen-komponen penyusun dari sistem molekul banyak [Hanke, 1973]. Sebagai contoh akibat beban perubahan suhu secara permanen maka melalui proses rekristalisasi dalam struktur terjadi perubahan kerapatan logam timah. Proses difusi pada bahan keramik juga bergantung tipe-tipe keramik, metalisasi alloy, kelembaban, suhu operasi, tipe dan besar tegangan yang diberikan dan parameter-parameter lainnya [Wise, 1992; Hill et al, 1991].

Efek penuaan (*aging effect*) ini diperlihatkan pada pergeseran (*drift*) kurva karakteristik arus tegangan (*I-U curve*) dari sensor thermistor yang berpengaruh kepada perubahan parameter-parameter elektrik dari sensor. Pengamatan berkala dari parameter sensor (*self-control sensor*) bertujuan agar alat-alat dalam pengoperasiannya selalu berada dalam daerah-toleransi (*tolerance range*) dari proses. Dalam operasi sensor-sensor bertugas memberikan sinyal yang dipergunakan untuk mengatur fungsi alat dan mengamati nilai batas toleransi. Dengan demikian kasus gangguan dan kerusakan peralatan yang membahayakan jiwa manusia, kerusakan pada mesin dan terhentinya proses produksi dapat dihindari [Schneider, 1996]. Untuk menentukan nilai-nilai dari parameter model maka sensor harus dikalibrasi.

Dari pemodelan kurva arus tegangan (*I-U*) sensor diperoleh parameter-parameter R_{T0} , b yang akan dipergunakan untuk merekonstruksi hubungan antara perubahan tahanan terhadap suhu, kurva (*R-T*) dari sensor. Parameter ini juga menggambarkan sifat dari sensor selama pengoperasian, dimana perubahan signifikan 1,5% dari nilai awal akan memperlihatkan kesalahan sensor dalam

II.2. Pemodelan Kurva Arus Tegangan Sensor

Pada penelitian ini dipergunakan pendekatan pemodelan matematis untuk menentukan tahanan thermal dari sensor PTC. Informasi untuk menentukan karakteristik sensor ditentukan dari model dengan besaran ukur yang dinyatakan sebagai parameter seperti diberikan sebagai berikut [Traenkler, 1996] :

$$g(a_j, x) = y - f(a_j, x) = 0 \tag{2.7}$$

dimana hasil pengukuran dinyatakan dengan y , besaran ukur x dan a_j adalah model dari parameter yang akan ditentukan. Persyaratan untuk menyelesaikan sistem persamaan ini dinyatakan dalam matrix Jacobi berikut ini:

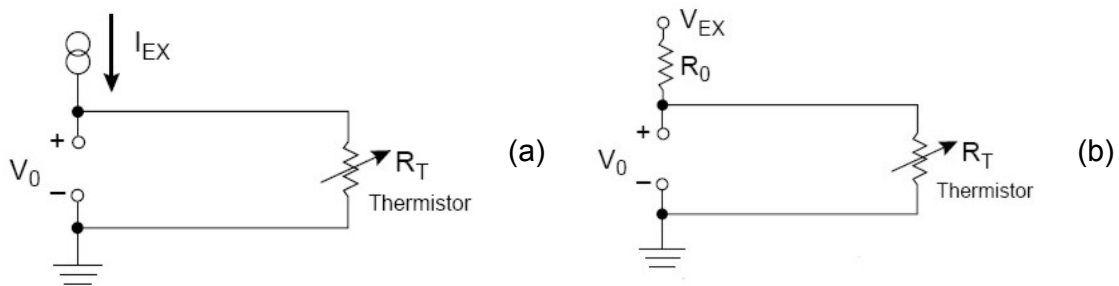
$$\frac{D(g_i)}{D(a_j, x)} = \begin{vmatrix} \frac{\partial g_1}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial g_1}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial g_1}{\partial x} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial g_n}{\partial a_1} & \dots & \frac{\partial g_n}{\partial a_{n-1}} & \frac{\partial g_n}{\partial x} \end{vmatrix} \neq 0 \tag{2.8}$$

Untuk mengoptimasi persamaan pemodelan arus-tegangan (I-U) dipergunakan nilai awal dalam menentukan parameter persamaan. Parameter secara iteratif diubah sampai diperoleh harga minimum sesuai dengan metode kuadrat terkecil (*leastsquare-method*).

II.3. Rangkaian Pengukuran Thermistor

Divais suhu merupakan suatu piranti resistive sehingga thermistor harus dicatu dengan arus untuk menghasilkan tegangan yang dapat dideteksi oleh sistem akuisisi data [Wood, 1978]. Tahanan dan sensitivitas yang tinggi dari thermistor menyederhanakan rangkaian yang dibutuhkan dan pengolah isyarat. Teknik yang paling umum adalah menggunakan sumber arus konstan dan mengukur tegangan yang timbul diantara thermistor, seperti diperlihatkan pada gambar 2.2 (a), tegangan terukur V_0 dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$V_0 = R_T \cdot I_{EX} \quad (2.9)$$



Gambar 2.2. Pengukuran sensor suhu thermistor PTC mempergunakan (a) sumber arus konstan dan (b) sumber tegangan konstan dalam rangkaian pembagi tegangan

Alternatif lain adalah dengan memberikan tegangan konstan V_{EX} , dan sebuah tahanan referensi, R_0 , dan divais dikonfigurasi dalam rangkaian pembagi tegangan. Pada konfigurasi yang diperlihatkan pada gambar 2.2 (b) ini, tegangan keluaran V_0 akan diperlihatkan pada persamaan berikut.

$$V_0 = V_{EX} \cdot \left(\frac{R_T}{R_T + R_0} \right) \quad (2.10)$$

Tingkat tegangan sinyal keluaran akan bergantung langsung pada tahanan thermistor dan magnitude dari sumber tegangan atau arus eksitasi. Konfigurasi ini dipergunakan untuk menentukan tegangan jatuh pada pengukuran sudut vektor aliran udara.

BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

III.1. TUJUAN PENELITIAN

Anemometer yang didesain dari sensor suhu PTC ini memberikan solusi atas tuntutan tersebut. Disamping kelebihan utamanya yaitu sangat sensitif dan harga yang murah, sensor ini mempunyai kelemahan diantaranya adalah sinyal yang tidak linear. Namun demikian, dengan penggunaan mikroprosesor yang murah yang banyak terdapat di pasaran, sifat *interchangeability* dan linearitas sensor dapat ditingkatkan dalam proses kalibrasi. Lebih jauh, sensor PTC-thermistor memberikan solusi yang baik untuk mengukur kecepatan aliran udara jika dirancang sesuai dengan teknologi terakhir dibandingkan sensor airflow lainnya.

Dalam penelitian [Lazuardi, 2005] terdahulu telah dikembangkan suatu sensor airflow yang terdiri dari elemen sensor suhu PTC tunggal yang dilengkapi prosedur untuk oto-kalibrasi dengan mengevaluasi karakteristik kurva $I(U)$ pada udara tenang dan pada beberapa kecepatan aliran udara. Hasil penelitian memberikan informasi tentang hubungan antara koefisien tahanan termal sebagai fungsi dari kecepatan udara.

Pada penelitian ini akan dikembangkan lebih lanjut penelitian sebelumnya dengan melengkapi sensor dengan prosedur optimasi untuk menentukan kecepatan dan arah vektor aliran udara. Kecepatan aliran dan arah vektor aliran udara akan ditentukan berdasarkan pengukuran tiga elemen sensor yang ditempatkan pada suatu medan aliran udara asimetris. Untuk menjamin fungsi sensor dalam waktu yang lama, diperlukan penelitian simulasi penuaan (*ageing*) untuk melihat umur sensor (*life time*). Sensor PTC akan dikarakterisasi dengan memberikan perlakuan tegangan kejutan kontinyu dalam selang waktu tertentu untuk mengamati perubahan struktur material sensor. Perubahan struktur material penyusun sensor diamati dari penyimpangan toleransi parameter-parameter model matematis yang diperoleh setiap selang waktu tertentu terhadap nilai pada kondisi awal (referensi). Dari hasil penelitian akan diperoleh rentang toleransi penyimpangan parameter elektrik sensor akibat faktor penuaan sepanjang operasi yang menjadi faktor untuk recalibrasi fungsi sensor.

Sebagai akibat pemakaian sensor dalam jangka waktu yang lama (*long-term operation*), permukaan sensor akan terbentuk deposit kerak (*soiling*) akibat adanya debu yang datang bersamaan dengan aliran udara. Perubahan tahanan termal R_w secara perlahan yang diakibatkan peningkatan jumlah kerak pada permukaan sensor, akan mengubah besarnya tahanan termal keseluruhan sensor sehingga mempengaruhi waktu respon sensor dalam mendeteksi kecepatan aliran udara. Hal ini akan menjadi sumber kesalahan karena

pergeseran titik kerja sensor pada kurva $I(U)$. Pada penelitian ini, perubahan tahanan termal dari suatu sensor PTC-thermistor yang berkerak dianalisa dengan merekonstruksi kerak dan kotoran pada sensor ke dalam pengukuran yang cocok dan hasilnya di verifikasi dengan model matematis yang bersesuaian. Untuk mendeteksi perubahan mendadak dari aliran udara akan ditentukan dengan prosedur 2-titik ukur kurva $I(U)$ sehingga prosedur ini memungkinkan mengukur kecepatan aliran udara setiap waktu dari hanya beberapa data arus-tegangan tanpa pengukuran suhu ekstra.

Dari hasil penelusuran pustaka belum ada literatur yang menerbitkan hasil-hasil penelitian tentang pengembangan sensor PTC untuk mengukur kecepatan aliran udara sekaligus untuk mengukur sudut vektor aliran udara yang dilengkapi fitur *smart* untuk *self-monitoring* sensor. Dengan demikian tujuan dari riset ini adalah dihasilkannya anemometer yang handal dan murah dan dilengkapi dengan prosedur/algorithm untuk menentukan kecepatan dan sudut vektor aliran udara dengan kompensasi faktor suhu lingkungan, mampu mendeteksi secara otomatis perubahan karakteristik sensor mempergunakan prosedur self-monitoring secara online selama pengoperasiannya.

Hasil dari riset ini dapat memberikan kontribusi kepada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia serta hasil prototipe yang diperoleh dapat dipergunakan untuk keperluan laboratorium dan industri yang berhubungan dengan pengukuran sistem pengukuran aliran udara.

III.2. Tujuan Khusus Dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan anemometer sensor yang dapat mengukur kecepatan dan arah vektor aliran udara berdasarkan pengukuran tiga elemen sensor yang ditempatkan pada suatu medan aliran udara asimetris.
2. Mengembangkan fungsi oto-monitoring dimana kecepatan dan sudut aliran udara dapat ditentukan dengan mempergunakan hanya dua-titik data kurva $I(U)$, sementara suhu ambang penyebab drift dieliminir.
3. Penelitian simulasi penuaan (*ageing*) untuk melihat umur sensor (*life time*). Dari hasil penelitian akan diperoleh toleransi penyimpangan parameter elektrik sensor akibat faktor penuaan sepanjang operasi yang menjadi faktor untuk recalibrasi fungsi sensor.
4. Simulasi perubahan tahanan termal dari sensor PTC-thermistor yang berkerak dengan merekonstruksi kerak pada sensor ke dalam pengukuran yang cocok dan hasilnya di verifikasi dengan model matematis yang bersesuaian.

5. Implementasi algoritma pengolahan sinyal mempergunakan mikrokontroler berbasis AT Mega 8535 sehingga dihasilkan suatu prototipe smart airflow sensor.
6. Pemanfaatan hasil penelitian sebagai alat pendeteksi cuaca sederhana berbiaya rendah yang dapat dipergunakan pada berbagai keperluan seperti untuk bidang pertanian, perkebunan, laboratorium dan sebagainya.

BAB IV METODE PENELITIAN

Rancangan riset yang telah dilaksanakan adalah eksperimental yang diawali dengan desain dari prototipe alat berdasarkan teori yang ada. Selanjutnya dilakukan implementasi desain tersebut melalui eksperimen di laboratorium. Penelitian ini akan dilaksanakan pada Laboratorium Fisika Terapan dan Laboratorium Elektronika pada Jurusan Fisika FMIPA UNRI serta berbagai bengkel kerja untuk membuat komponen penelitian serta ditunjang oleh tenaga peneliti yang memadai untuk menunjang kelancaran penelitian ini. Disamping itu penelitian ini melibatkan mahasiswa tingkat sarjana dalam eksperimen serta pengolahan data untuk penelitian tugas akhirnya yang diambil dari data riset.

IV.1. Persiapan Penelitian

Pada penelitian ini telah dilakukan beberapa persiapan awal untuk menunjang kelancaran pekerjaan sebagai berikut.

IV.1.1 Literatur Recherche,

Literatur recherche telah dilakukan untuk mengumpulkan literatur yang mendukung penelitian ini di dalam tema penggunaan sensor PTC sebagai detektor untuk mengukur kecepatan aliran udara. Penelusuran literatur telah dilakukan dengan melakukan kontak dengan rekan-rekan di dalam seperti di perguruan tinggi di pulau Jawa dan di luar negeri seperti di Jerman dan Malaysia dengan mengingat keterbatasan sarana literatur yang ada di Universitas Riau. Dari penelusuran diperoleh gambaran bahwa belum terdapat penggunaan sensor suhu PTC untuk sensor kecepatan udara sekaligus menentukan arah vektor aliran udara. Umumnya, anemometer yang dipergunakan untuk mengukur kecepatan udara dipilih dari hotwire.

IV.1.2. Pemesanan Alat dan Bahan

Penelitian ini bersifat eksperimen dan memerlukan beberapa alat dan bahan habis. Pembelian sampel sensor serta komponen elektronik yang akan dipergunakan untuk diperlukan dalam penelitian ini dipesan dari beberapa sumber seperti Firma Epcos dan Buerklin di luar negeri. Oleh karena komponen alat yang menjadi bahan penelitian harus di pesan dan memerlukan waktu maka untuk memperlancar jalannya penelitian maka dilakukan persiapan lainnya seperti mempersiapkan alat-alat penelitian yang telah tersedia seperti oven Heraus, power supply dan catu daya stabil, kartu antar muka (ADC), software dan PC untuk

mengakuisisi data pengukuran. Pembuatan rangkaian elektronik dan karakterisasi sensor dilakukan sepenuhnya di Universitas Riau, sementara pembuatan dudukan cakram ukur untuk menentukan sudut vector aliran udara dilakukan dengan pemesanan pada bengkel kerja jurusan Fisika FMIPA ITB Bandung.

IV.1.3. Persiapan Peralatan Lab. dan Instrumen Ukur

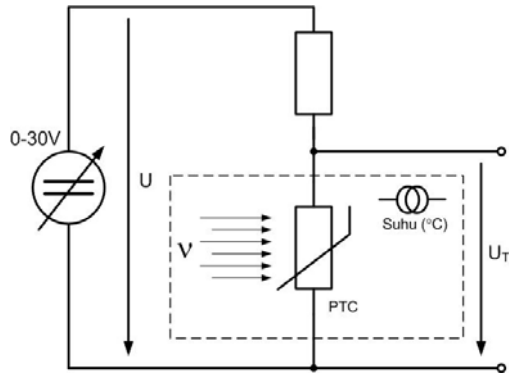
Untuk menunjang pengukuran di lab telah disiapkan beberapa peralatan sebagai berikut untuk mempermudah pekerjaan: Osiloskop Digital Philips PM3382 100Mhz, Multimeter Digital Advantest R8240, Termostat Heraus 6060 $T_{max} = 300^{\circ}\text{C}$ yang berguna untuk pengujian sensor, ADC Card Velleman + Software PC2000, Hewlett Packard Quartz Thermometer 2804A, Hewlett Packard Digital Voltmeter HP3456A dan alat ukur Keithley Nanovoltmeter 181. Karakterisasi sensor akan dilakukan di Universitas Riau.

Untuk karakterisasi sensor suhu PTC sebagai detektor kecepatan dan sudut vektor aliran udara maka telah dikembangkan suatu terowongan udara kecil (*mini wind channel*) yang dibuat dari pipa PVC berdiameter 8 inchi dimana dilakukan karakterisasi sensor pada variasi kecepatan aliran dan sudut datang udara. Dengan mempergunakan trafo toroida tegangan AC maka kecepatan aliran udara yang tiba di permukaan sensor dapat divariasikan, sementara untuk mengubah-ubah sudut datang kecepatan aliran udara dilakukan dengan memutar cakram ukur pada sudut yang akan ditentukan.

IV.2. Kalibrasi Sensor PTC Untuk Mendeteksi Kecepatan Aliran Udara

Karakteristik statis dan dinamis dari sensor suhu PTC yang dipergunakan sebagai sensor kecepatan dan sudut alir udara dilakukan dengan mengukur sensor pada kondisi statis (udara tenang) dan dinamis (udara bergerak). Dari hasil pengukuran diperoleh kurva arus sebagai fungsi tegangan sensor $I(U)$ yang menyatakan fungsi transfer sensor akibat pengaruh dari lingkungannya.

Pada penelitian ini sensor PTC thermistor akan dikalibrasi mempergunakan rangkaian seperti pada gambar 4.1 berikut ini. Tegangan operasional U diatur melalui komputer dan data hasil pengukuran dibaca melalui interface ADC. Hasil pengukuran kemudian diolah mempergunakan software SigmaPlot dan Table Curve untuk membentuk kurva $I(U)$ dan dengan mempergunakan software Matlab dan Mathcad akan dimodelkan kurva $I(U)$ tersebut untuk memperoleh parameter model serta tahanan termal dari sensor sebagai fungsi dari kecepatan aliran udara.



Gambar 4.1. Rangkaian untuk mengkalibrasi sensor PTC-thermistor

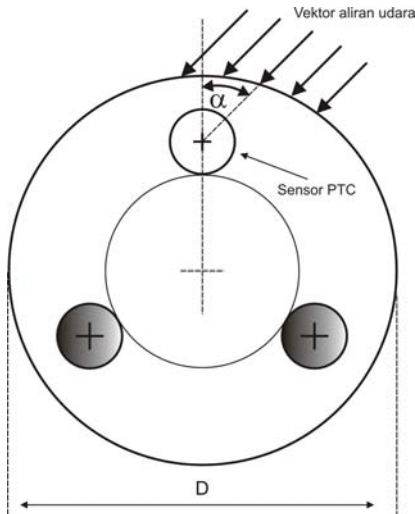
Sensor diberikan tegangan variabel dengan interval waktu yang bertujuan untuk mencapai waktu kondisi kesetimbangan sensor setelah self-heated. Suhu lingkungan (medium) T_M diukur mempergunakan sensor suhu ekstra. Akuisisi data arus dan tegangan sensor dilakukan pada $v = 0$ m/s dan pada variasi kecepatan aliran udara $v \neq 0$ m/s. Kurva $I(U)$ pada berbagai variasi kecepatan yang menghubungkan antara kecepatan aliran udara dengan tahanan termal dinyatakan dalam persamaan King's [Bradshaw,1968] berikut:

$$R_w = (a + b \cdot v^n)^{-1} \quad (4.1)$$

dengan parameter regresi a dan b serta $n = 0.5$. Secara teoritis, kecepatan aliran udara v dapat dihitung sebagai fungsi dari tegangan terukur U_R pada tahanan seri R , dimana U_S - tegangan suplai sensor. Dari hasil penelitian ini akan diperoleh hubungan antara tahanan termal sebagai fungsi kecepatan udara, serta parameter regresi dari persamaan Kings diatas.

IV.3. Menentukan Sudut Vektor Aliran Udara

Untuk menentukan sudut aliran udara dipergunakan konfigurasi tiga elemen sensor yang ditempatkan pada sudut tertentu pada suatu bidang aliran silindris yang terletak dalam medan aliran asimetris. Ketiga elemen sensor PTC ditempatkan pada suatu sudut 120° antara satu dengan lainnya seperti diperlihatkan pada gambar 4.2. berikut ini.



Gambar 4.2 Susunan sensor: tiga elemen sensor suhu PTC-thermistor ditempatkan pada sudut tertentu pada bidang alir silindris

Dengan eksitasi periodik pada elemen sensor maka pengaruh suhu dapat dieliminir dari hasil pengukuran. Dari pembacaan pengukuran secara simultan dari ketiga elemen sensor maka kecepatan aliran udara dan sudut vektor arah aliran dapat dihitung selama operasi mempergunakan prosedur optimasi.

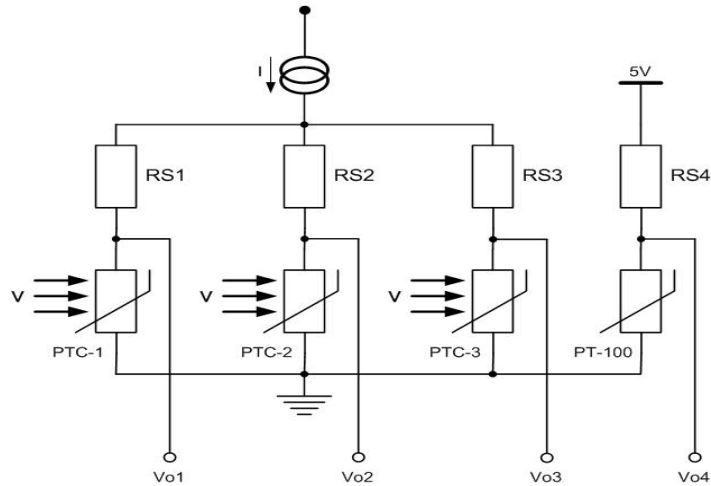
Struktur medan aliran asimetris dua dimensi ini memungkinkan pada penelitian ini untuk mengukur tegangan setiap sensor PTC $U_{PTC} = U_s - U_R$ yang bergantung pada sudut vektor aliran udara α dan kecepatan aliran udara v yang datang. Secara umum persamaan sensor dapat dimodelkan seperti persamaan berikut:

$$U_{PTC}(v, T, \alpha) = U_{0k}(v, T) + U_{1k} \cdot f(\alpha, \Delta\alpha_k) \quad (4.2)$$

dimana, $k = 1, 2, 3$ dan $\Delta\alpha_1 = 0^\circ$, $\Delta\alpha_2 = 120^\circ$, $\Delta\alpha_3 = 240^\circ$.

Dengan metoda yang diusulkan pada penelitian ini, semua informasi diperoleh dari sistem sensor ini sendiri. Prosedur oto-kalibrasi yang merupakan fitur dari „smart“ sensor dapat dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari pengukuran elemen sensor asimetris di dalam silinder ukur, serta berdasarkan sinyal identik dari ketiga sensor yang diamati: $U_{PTC1} = U_{PTC2} = U_{PTC3}$ yang berimplikasi pada parameter model yang stabil serta arah aliran udara dapat secara mudah dievaluasi.

Ketiga elemen sensor yang ditempatkan pada medan asimetris tersebut akan diberikan sumber arus yang sama dan akan diukur tegangan jatuh pada terminal sensor seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. Rangkaian Kalibrasi Karakteristik Elektris 3 Sensor PTC.

Pengukuran sudut vektor aliran udara dilakukan secara simultan. Dari pembacaan pengukuran tegangan keluaran V_{O1} , V_{O2} , V_{O3} dari ketiga elemen sensor serta tegangan keluaran sensor PT-100 untuk mengukur suhu lingkungan V_{O4} maka kecepatan aliran udara dan sudut vektor arah aliran udara dapat dihitung selama operasi mempergunakan prosedur optimasi.

IV.4. Penelitian Simulasi Penuaan Sensor

Untuk mensimulasikan proses penuaan pada thermistor maka sensor diberikan tegangan berbeda kontinyu selama selang waktu tertentu. Besarnya penyimpangan dari parameter-parameter sensor dapat diperoleh berdasarkan diferensiasi persamaan (4.3) yang memberikan:

$$\frac{\Delta R_T}{R_T} = \frac{\Delta R_{T0}}{R_{T0}} + \frac{\Delta B}{B} \cdot \left(\frac{B \cdot T_S - B \cdot T_C}{T_S} \right) \quad (4.3)$$

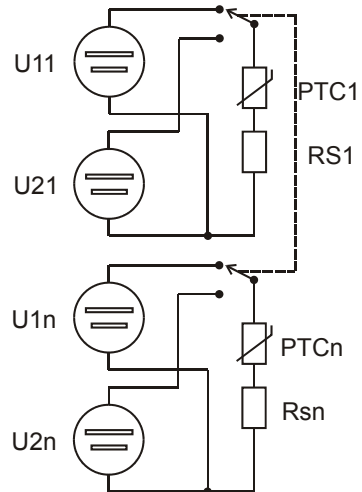
dimana

$\frac{\Delta R_T}{R_T}$ rasio penyimpangan nilai tahanan pada suhu T_S dari harga seharusnya akibat toleransi pengiriman dari R_{T0} dan B

$\frac{\Delta R_{TN}}{R_{TN}}$ rasio penyimpangan dari nilai tahanan nominal pada suhu nominal T_N , dan

$\frac{\Delta B}{B}$ rasio penyimpangan nilai B pada suhu nominal

Rangkaian dari proses penuaan diperlihatkan pada gambar 4.4 dimana setiap sensor memperoleh arus yang sama dengan selang waktu tertentu, dan mengalami perubahan panas. Karakteristik sensor pada setiap selang waktu tertentu akan diamati dan dibandingkan terhadap sensor baru (referensi).



Gambar 4.4. Simulasi proses penuaan sensor (ageing) dengan memberikan perlakuan tegangan secara kontinyu untuk melihat perubahan karakteristik sensor sebagai fungsi waktu

Penelitian ini akan dihentikan jika terdapat penyimpangan lebih besar dari 1,5% dari nilai awal referensi.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1. Pembuatan Kanal Udara Mini Untuk Karakterisasi Sensor

Sensor suhu PTC yang difungsikan untuk mengukur kecepatan aliran udara dikarakterisasi di dalam terowongan angin. Oleh karena keterbatasan laboratorium pengujian mempergunakan terowongan angin maka pada penelitian ini telah dikembangkan terowongan angin yang memiliki kecepatan aliran bervariasi. Perubahan kecepatan tersebut dapat diatur dengan mempergunakan trafo toroida yang menyuplai motor listrik penggerak baling-baling kanal udara, yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kecepatan putaran udara.

Untuk itu pada penelitian ini telah dikembangkan suatu kanal udara mini yang terbuat dari pipa PVC dengan diameter 8 inci dan panjang 120 cm. Sementara kipas yang dipergunakan mempunyai diameter 6 inci dan diputar oleh motor listrik 1500rpm dengan daya 45W. Untuk menopang motor listrik di dalam pipa silinder maka dibuatkan dudukan motor dari pelat besi yang dapat dikeluarkan masuk untuk perawatan. Hasil pengukuran mempergunakan anemometer diperoleh kecepatan aliran yang masih rendah. Hal ini disebabkan dimensi dari kipas yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan diameter pipa. Perbedaan ini menyebabkan tekanan angin yang keluar dari pipa hampir sama dengan tekanan pada masukan turbin.



Gambar 5.1. Muka hisap dari kanal udara

Kecepatan aliran udara yang keluar dari pipa kanal udara akan ditentukan oleh tegangan operasional motor listrik yang dapat diatur melalui trafo toroida. Pada awalnya, pengukuran mempergunakan pipa PVC 8 inci hanya mampu memberikan kecepatan udara sebesar 1,2 m/s. Rendahnya putaran ini disebabkan beberapa hal yaitu terdapatnya ruang kosong antara lidah (blade) dari kipas dan dinding dalam pipa serta kurang tingginya putaran dari motor listrik. Oleh sebab itu pada pengembangan berikutnya telah dipergunakan semacam corong yang berfungsi untuk mengarahkan aliran ke diameter yang lebih sempit (3 inci). Dari

hasil pengukuran diperoleh kenaikan aliran udara meningkat menjadi sebesar 4,5m/s dan sudah memadai untuk karakterisasi sensor aliran udara.

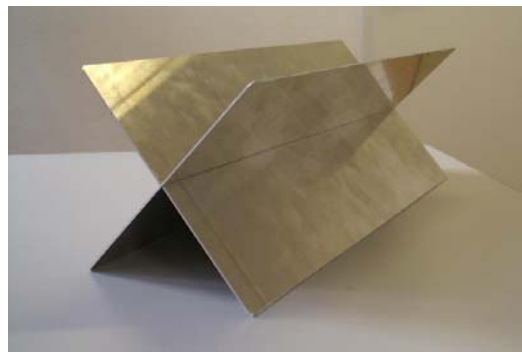


Gambar 5.2. Kanal udara dengan variasi kecepatan aliran

Pada ujung keluaran pipa 3 inchi ditempatkan sensor padaudukan berputar (cakram ukur) yang dijepit mempergunakan klem multi sudut sehingga akan diperoleh posisi sensor pada kecepatan aliran udara maksimal, gambar 5.3a. Sementara udara yang mengalir melewati pipa pada dasarnya tidak homogen disebabkan oleh konstruksi sederhana dari kanal udara mini ini. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya kurang stabilnya putaran bilah dari baling-baling, adapter antara pipa kanal 8 inchi dengan 3 inchi, gesekan yang terjadi pada permukaan dalam dari pipa yang berimplikasi pada mutu aliran arus udara yang mengalir pada keluaran pipa. Hal ini tentu saja akan berpengaruh kepada mutu pengukuran dari karakterisasi sensor. Oleh sebab itu dipergunakan suatu reflektor dari pelat alumunium, seperti pada gambar 5.3b, yang ditempatkan di tengah-tengah terowongan kanal udara yang bertujuan untuk memperoleh arus udara yang homogen keluar dari kanal udara mini ini.



(a)



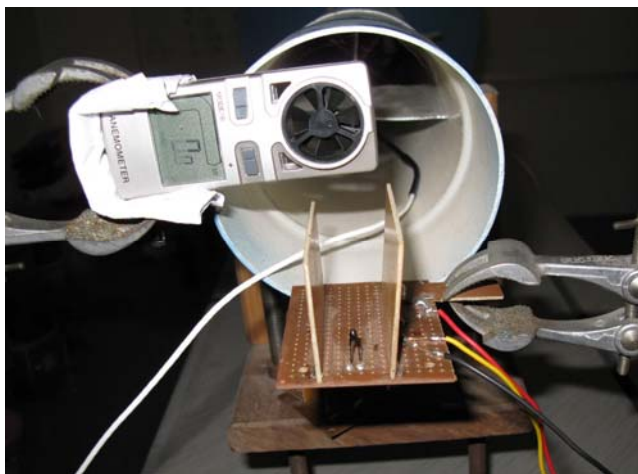
(b)

Gambar 5.3. (a) Posisi sensor pada keluaran dari kanal udara mini dan (b) bentuk reflektor penyearah aliran

Dengan cara ini dapat dilakukan karakterisasi beberapa sensor sekaligus dan dapat dipergunakan untuk pengembangan selanjutnya sebagai detektor arah aliran

udara. Pengecekan kecepatan aliran udara untuk mengkalibrasi sensor dilakukan dengan mempergunakan anemometer. Pada penelitian ini dipergunakan 2 anemometer yaitu handheld dan anemometer otomatis yang dilengkapi dengan sistem akuisisi data pengukuran. Adapun anemometer otomatis yang dipergunakan sebagai kalibrator adalah tipe anemometer EM900P yang terhubung ke data logger dari perangkat Lutron SLM 4112. Probe anemometer ini dapat mengukur kecepatan udara sampai dengan 25 m/s yang dilengkapi dengan pengukur suhu serta kelembaban internal. Fungsi ini menarik karena pada pengukuran berulang dan memerlukan waktu yang lama, motor listrik yang memutar daun baling-baling kanal udara akan memanaskan sehingga menyebabkan udara panas tersedot ikut ke dalam kanal udara dan mempengaruhi kurva I(U) dari sensor. Dengan demikian pengukuran dihentikan sampai suhu kembali normal.

Sementara untuk akuisisi data dari anemometer ke PC, dipergunakan software pengendali (*Data Acquisition Software*) yaitu Lutron SW-U801-WIN yang memungkinkan komunikasi dengan komputer dimana data ditransfer mempergunakan komunikasi kabel serial RS232. Posisi sensor dan anemometer pada eksperimen karakterisasi sensor diperlihatkan pada gambar 5.4a dan b.



(a)



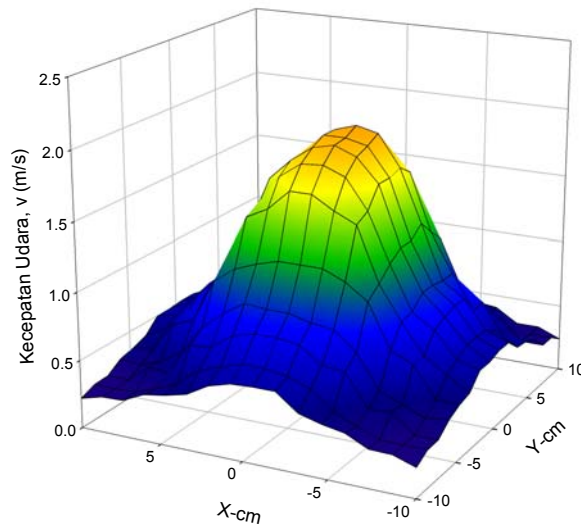
(b)

Gambar 5.4. Posisi sensor suhu dan anemometer tangan pada keluaran turbin udara pada (a) dan kalibrator otomatis pada (b)

Untuk mengetahui apakah aliran udara yang homogen telah tercapai maka dilakukan karakterisasi profil aliran udara yang keluar pada mulut kanal udara mini dengan mengukur kekuatan aliran udara yang ada pada setiap titik pada keluaran. Pada penelitian ini dilakukan dengan membagi permukaan keluaran menjadi bentuk matriks $m \times n$ dan setiap titik diukur mempergunakan anemometer. Hasil pengukuran memberikan hasil seperti diperlihatkan pada gambar 5.5 berikut.

Pada gambar 5.5 terlihat bahwa akibat pemasangan reflektor aluminium maka kecepatan udara mencapai maksimum dan relatif homogen pada tengah-

tengah pipa berbentuk lingkaran. Oleh sebab itu untuk karakterisasi selanjutnya maka penempatan sensor PTC ditaruh pada tengah dari kanal udara.



Gambar 5.5. Profil kecepatan aliran dari kanal udara mini

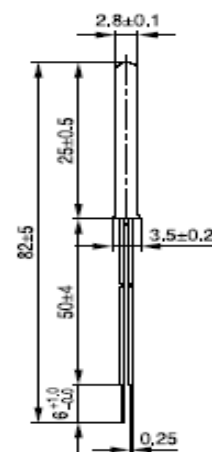
V.2. Karakterisasi Statis, Dinamis dan Pemodelan Sensor PTC

V.2.1. Karakterisasi Statis Sensor PTC

Pelaksanaan eksperimen untuk mendesain sensor suhu PTC sebagai sensor kecepatan dan arah aliran udara dilakukan dalam dua tahap yaitu menentukan karakteristik statis dan karakteristik dinamis sensor suhu PTC. Pada kedua eksperimen, sensor dikarakterisasi untuk memperoleh kurva arus tegangan $I(U)$ atau $I(V)$, yang kemudian dimodelkan sehingga diperoleh parameter sensor seperti R_{To} , R_o dan B yang menggambarkan karakteristik dari sensor. Pada penelitian ini dipergunakan sensor *positive temperature coeficient* (PTC) tipe RS dengan rumahan stainless steel seperti diperlihatkan pada gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.6 Sensor tipe RS Cat. yang akan diuji karakteristiknya dengan rumahan logam (stainless steel).



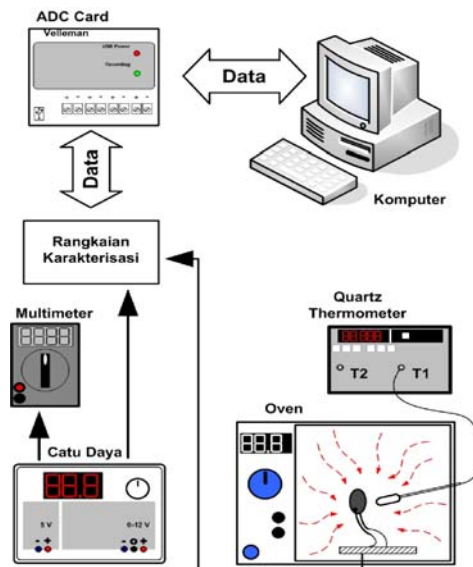
(b)

Sensor PTC ini terbuat dari bahan semikonduktor Barium Titanate (BaTiO_3) dari perusahaan Firma Epcos-AG yang berfungsi sebagai level sensor. Dimensi sensor yang terbuat dari rumah stainless steel sangat cocok dipergunakan sebagai pendeteksi aliran udara. Bentuknya yang khas mempermudah variasi pemasangan pada lingkungan yang kasar. Sensor ini bekerja pada jangkauan tegangan maksimum 18V dan penggunaan pada jangka 10V dan 18 V memudahkan evaluasi arus sensor dimana panas yang dilepaskan sensor proporsional langsung kepada arus yang mengalir padanya. Data teknis dari sensor diberikan pada table 4.1 berikut ini.

Tabel 5.1. Data teknis sensor suhu PTC

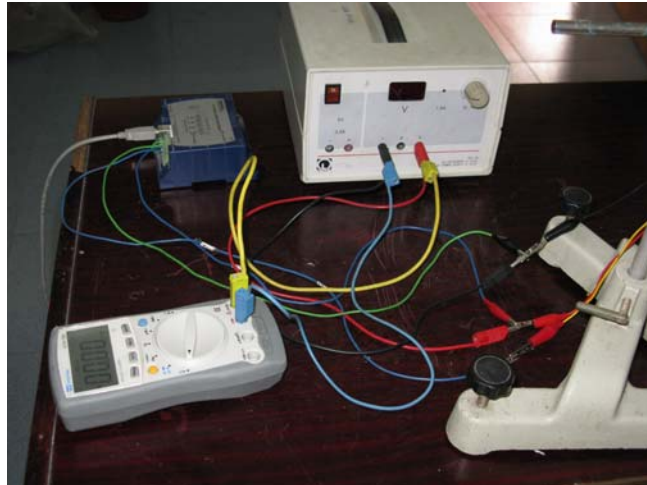
Max. operating voltage		V_{\max}	18	VDC
Rated resistance		R_R	40 ... 80	Ω
Operating temperature range	($V = 0 \text{ V}$)	T_{op}	-55/+100	$^{\circ}\text{C}$
Operating temperature range	($V = 18 \text{ V}$)	T_{op}	+10/+65	$^{\circ}\text{C}$
Number of cycles	($R_S = 50 \Omega, V = 18 \text{ V}$)	N	5000	
Residual current in water		I_{rot}	see diagram	mA
Residual current in air		I_{rat}	see diagram	mA
Settling time		t_E	60	s
Surface temperature	($V = 18 \text{ V}$)	T_{surf}	< 80	$^{\circ}\text{C}$

Untuk memperoleh parameter sensor yaitu RT_0 , R_0 dan B maka sensor dikarakterisasi statis dengan mengukur kurva arus dan tegangannya $I(U)$ yaitu dengan meletakkan sensor pada oven pada suhu terkontrol dan sensor diberi tegangan bervariasi dari 0-20V. Oven yang digunakan yaitu Heraeus tipe T6060, yang merupakan ruang untuk rangkaian kalibrasi termistor PTC dengan suhu konstan yang dapat diatur suhunya dari 25°C - 300°C . Pada oven $v = 0\text{m/s}$.



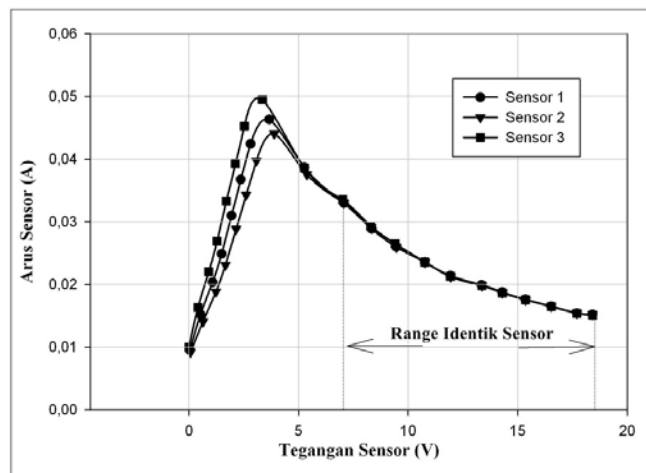
Gambar 5.7. Set up pengambilan data karakterisasi sensor

Selama sensor ditempatkan di dalam oven, pengukuran dilaksanakan mempergunakan ADC Modul merek Velleman yang dikendalikan dengan program komputer PCLab2000. Hasil pengukuran kemudian diolah mempergunakan software SigmaPlot untuk memperoleh komponen arus I dan tegangan V dari sensor PTC. Semua peralatan untuk pengambilan data disusun sesuai dengan gambar 5.7 dan 5.8. berikut:

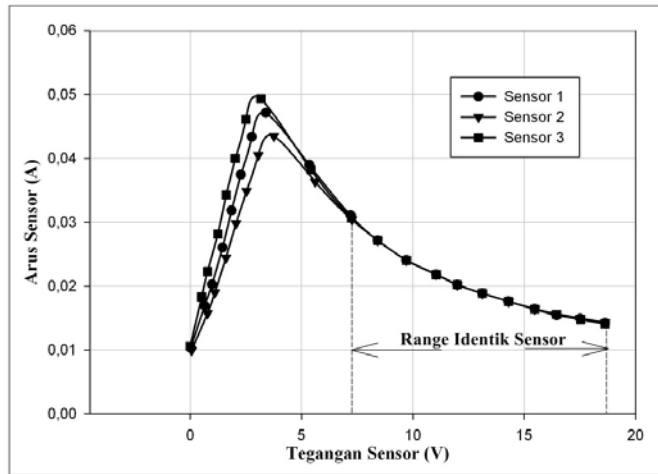


Gambar 5.8. Pengukuran statis sensor suhu PTC

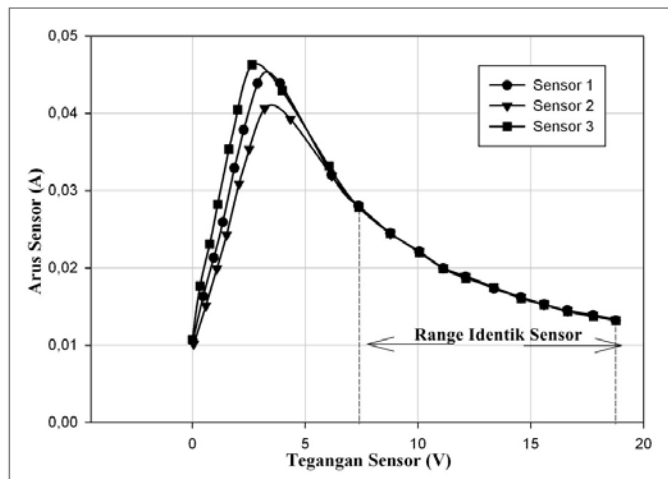
Sensor dikarakterisasi untuk memperoleh kurva arus tegangan sensor $I(U)$ atau $I(V)$. Untuk melihat pengaruh suhu lingkungan pada sensor, maka dilakukan pengukuran secara berulang-ulang dengan suhu yang bervariasi. Setelah rangkaian sensor dirakit, kemudian sensor PTC diletakkan di dalam oven yang suhunya telah ditentukan yaitu 40°C , 50°C , 60°C dan pergerakan udara di dalam oven dianggap tidak ada atau $v = 0 \text{ m/s}$, lihat gambar 5.9 sampai dengan 5.11.



Gambar 5.9. Grafik Karakterisasi Sensor Pada Suhu 40°C



Gambar 5.10. Grafik Karakterisasi Sensor Pada Suhu 50°C

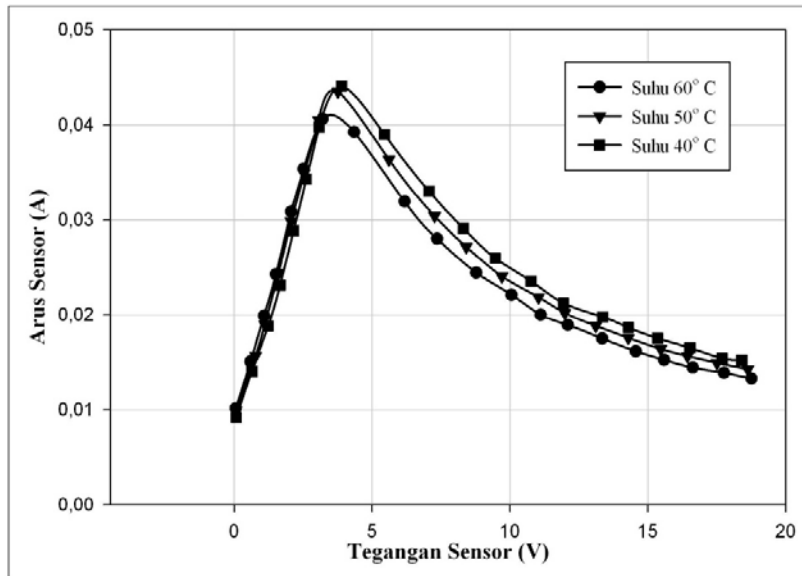


Gambar 5.11. Grafik Karakterisasi Sensor Pada Suhu 60°C

Seperti terlihat pada gambar 5.9 – 5.11, kurva ketiga sensor memiliki range identik yang menyatakan bahwa sensor memiliki sifat yang sama pada daerah tegangan $U_o > 12V$. Pada tegangan ini sensor relatif lebih stabil sehingga dapat dipergunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara. Arus yang diserap oleh sensor yang diubah menjadi panas akan mengalami penurunan secara eksponensial. Bagian inilah kemudian dimodelkan mempergunakan software MathCad dengan mempergunakan harga awal serta nilai suhu lingkungan sensor T_M sebagai input pemodelan untuk memperoleh parameter sensor R_{to} , R_o dan B .

Suhu lingkungan mempengaruhi konsumsi daya dari sensor PTC. karena saat suhu lingkungan menurun sensor membutuhkan lebih banyak energi untuk melakukan *self-heating*. Jika suhu lingkungan meningkat daya yang diperlukan sensor untuk melakukan *self-heating* semakin sedikit, karena panas dari lingkungan

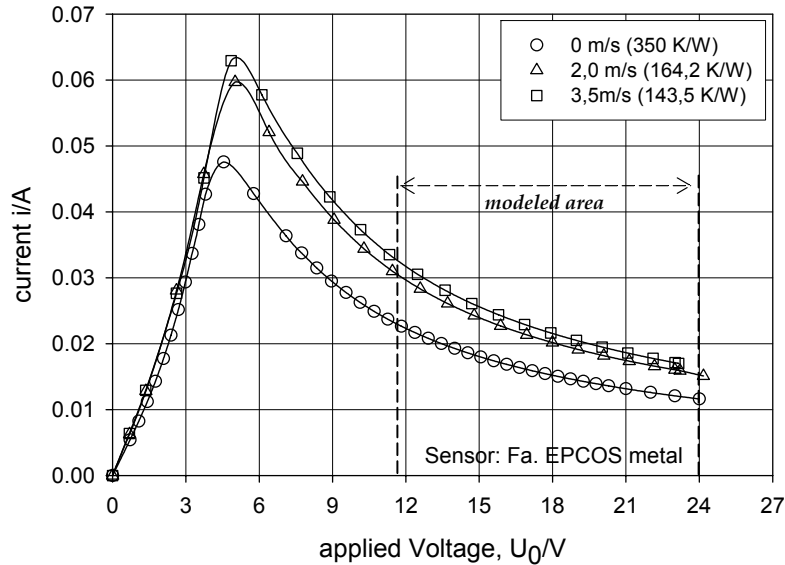
sekelilingnya akan mentransfer panas ke sensor. Pengaruh konsumsi daya sensor ke-1 terhadap perubahan suhu lingkungan dapat dilihat pada gambar 5.12 berikut



Gambar 5.12. Grafik Karakterisasi Sensor dengan Variasi Suhu Lingkungan

V.2.2. Karakterisasi Dinamis Sensor PTC dan Pemodelan Kurva I(U)

Karakteristik dinamis sensor berupa kurva arus dan tegangan (I-U) pada berbagai tingkat kecepatan diperoleh pada variasi kecepatan 0 sampai 3,5 m/s, lihat gambar 5.13 berikut. Akibat kenaikan kecepatan udara maka terjadi pergeseran kurva arus ke atas yang diakibatkan lebih banyak panas ditransfer dari sensor ke lingkungan disekitarnya. Hal ini akan mengakibatkan sensor mengkonsumsi arus lebih besar untuk mempertahankan kondisi kesetimbangannya (*equilibrium state*) dan udara yang dinamis menyebabkan kondisi konduktivitas thermal yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi pada udara tenang. Tahanan sensor suhu PTC akan menurun seiring dengan terjadinya penurunan suhu sensor akibat arus udara yang melewatinya menyebabkan terjadi disipasi panas dari sensor ke medium di sekeliling sensor.



Gambar 5.13 Karakteristik sensor pada berbagai kecepatan aliran udara dan pada daerah pemodelan. Tahanan termal akan menurun akibat kenaikan kecepatan aliran udara

Pada gambar 5.13 terlihat bahwa tahanan termal sensor dan parameter sensor diperoleh dari pemodelan kurva $I(U)$ pada daerah yang bersesuaian dengan daerah kurva $R(T)$. Hal ini ditandai pada daerah pemodelan (interested area) yang kemudian dimodelkan berdasarkan persamaan (2.6) sebelumnya dan daerah yang dipilih disesuaikan berdasarkan tipe dari sensor. Kurva arus dan tegangan $I(U)$ dimodelkan secara implicit dengan suhu ambang T_M dalam persamaan MathCAD. Berdasarkan prosedur ekstraksi parameter ini maka parameter sensor dan tahanan termal diperoleh. Penulisan syntax berikut menjelaskan pemodelan kurva $I(U)$ sensor suhu PTC sebagai berikut:

Given: guess values for the unknown variables R_{T0} , B , T_C , R_0
root(f(var1, var2, ...), var1)

$$T_s(P_{el} = P_{th}) = \text{root} \left[\left[\frac{U_T^2}{R_{T0} e^{B \left(\frac{T_s - T_C}{T_s} \right)} + R_0} \right] - \frac{1}{R_w} (T_s - T_M), t \right]$$

Fungsi **root(f(var1, var2, ...), var1)** memberikan nilai var1 yang membuat fungsi f sama dengan nol. Syntax memperlihatkan bahwa f adalah fungsi nilai scalar dari setiap bilangan variabel, var1 adalah variable scalar yang ditemukan dalam f. Nilai var1 dalam argument kedua adalah variable yang berhubungan dengan nilai

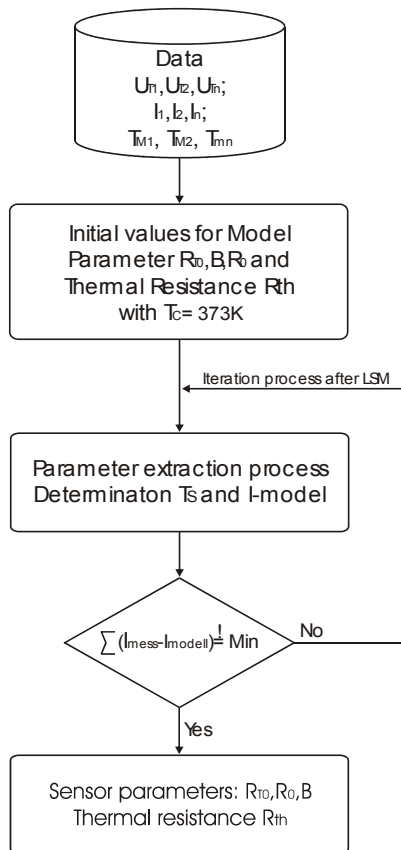
dimana akar diperoleh. Nilai \mathbf{v} adalah vector yang berisi koefisien polynomial dimana elemen pertamanya adalah dalam bentuk konstan. Untuk menentukan nilai parameter maka fungsi akar memerlukan nilai kira yang diperlukan untuk memulai proses menemukan akar persamaan. Jika nilai kira sangat dekat ke minimum atau maksimum f maka fungsi akar dapat gagal untuk konvergen atau konvergen ke suatu akar yang jauh dari nilai kira.

Pada persamaan pemodelan, T_s adalah suhu sensor PTC dalam keadaan equilibrium state, dimana daya listrik yang dikonsumsi sensor mempunyai kuantitas setara dengan energy disipasi ke lingkungannya atau $\mathbf{T}_s = \mathbf{T}_s (\mathbf{P}_{el} = \mathbf{P}_{th})$. Hasil ini dipergunakan untuk prosedur ekstraksi parameter berikutnya (successive extraction procedure) yang dituliskan sebagai berikut:

$$SSE(R_{T0}, R_0, B, R_W, T_C) := \sum_i \left[I_{measured} - \frac{U_T^2}{R_{T0} e^{B \left(\frac{T_s(P_{elek.}=P_{wärm.}) - T_C}{T_s(P_{elek.}=P_{wärm.})} \right)} + R_0} \right]^2$$

Minfehl(R_{T0}, R_0, B, R_W, T_C) = var₁, var₂, ...

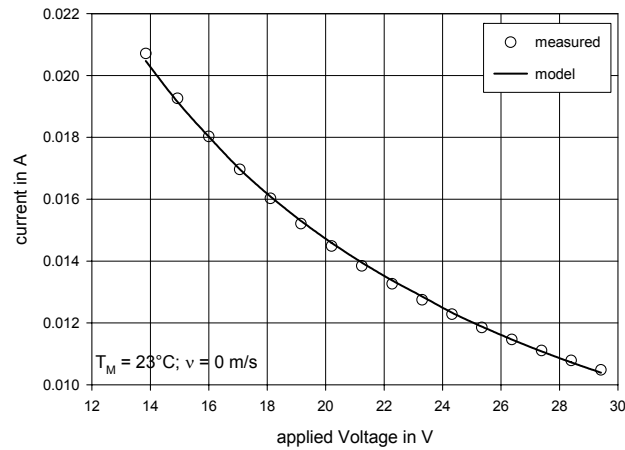
Fungsi **Minerr(var1, var2, ...)** mengembalikan nilai *var1*, *var2*... yang terdekat untuk memenuhi persamaan dan ketidaksamaan dalam blok penyelesaian. **Arguments:** *var1*, *var2*,... adalah variable scalar yang ditemukan dalam sistem persamaan. Parameter-parameter sensor R_{T0} , R_0 , B , T_C dan tahanan thermal R_W adalah nilai estimasi setelah iterasi dengan residu minimum. Proses iterasi digambarkan dalam diagram alir berikut, lihat gambar 5.14.



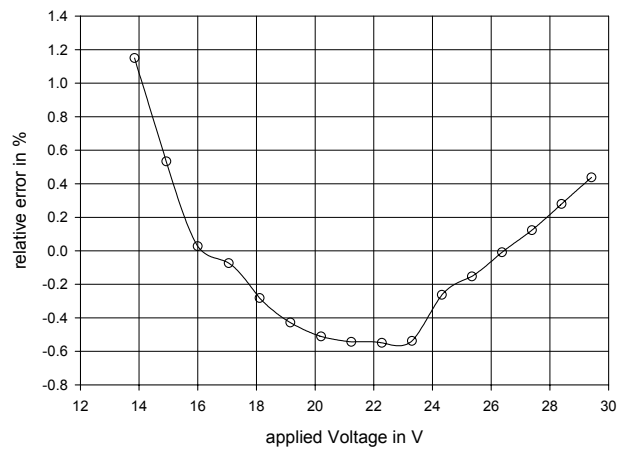
Gambar 5.14. Diagram alir dari proses iterasi pemodelan kurva I(U) sensor

Fungsi *Minerr* dipergunakan untuk menemukan solusi suatu sistem persamaan mempergunakan nilai awal untuk variable yang tidak diketahui (**Given**), kesamaan dan ketidaksamaan melalui operator Boolean. Program MathCAD mengevaluasi fungsi *Minerr* mempergunakan metode Levenberg-Marquardt yang memerlukan nilai awal kira untuk setiap variable yang tidak diketahui untuk memulai mencari solusi.

Hasil dari pemodelan kurva karakteristik sensor PTC Epcos dari fungsi arus dan tegangan $I(U)$ diberikan pada gambar 5.15a dan b. Sensor dikalibrasi pada udara tenang $v = 0$ m/s dan suhu 23°C . Seperti diperlihatkan pada grafik 5.15b terlihat bahwa kesalahan relative maksimum adalah sebesar 1.3% dan memperlihatkan kesalahan sistematis. Kesalahan ini disebabkan tidak saja oleh instrument tetapi juga masalah mathematical diakibatkan model yang di fit kan pada grafik. Nilai hasil pemodelan berupa parameter-parameter sensor pada $v = 0$ m/s dan $v \neq 0$ m/s diberikan tabel 5.2.



(a)



(b)

Gambar 5.15 (a) Pemodelan kurva $I(U)$ menurut persamaan kesetimbangan sensor PTC. Sensor dikalibrasi pada udara tenang ($v = 0 \text{ m/s}$) dengan suhu lingkungan sebesar 23°C , dan (b) kesalahan relative pemodelan

Tabel 5.2. Nilai parameter-parameter sensor pada berbagai kecepatan udara. Sensor diukur pada suhu $T_M 30^\circ\text{C}$.

Parameter	Values
$R_{T0} (\Omega)$	32,67
$R_0 (\Omega)$	$4,99 \cdot 10^{-7}$
B	73,88
$T_C (K)$	378,53

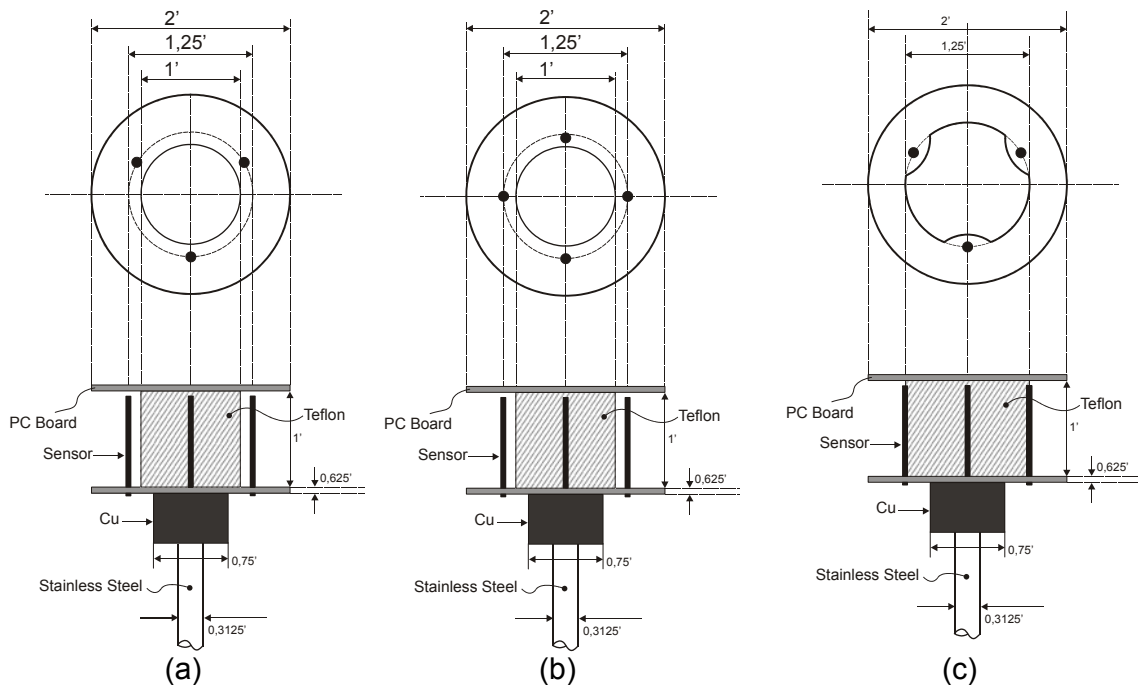
Air velocity, v (m/s)	Thermal resistance, R_W (K/W)
0	350
2,0	164,2
3,5	143,5

Dari hasil table 5.2 terlihat bahwa nilai tahanan termal di udara tenang ($v = 0 \text{ m/s}$) dan pada variasi kecepatan udara ($v \neq 0 \text{ m/s}$) tampak jelas berbeda satu sama lain sehingga bisa dimanfaatkan sebagai sensor kecepatan udara. Jika dibandingkan pada udara tenang terlihat bahwa tahanan termal menurun sebesar 59% pada $v = 3,5 \text{ m/s}$, sementara parameter sensor seperti R_{T0} , R_0 , B dan T_C relative konstan karena tidak terdapat proses re-cristalisasi dan defek pada sifat material elektronik dari sensor suhu PTC yang diuji..

V.3. Menentukan Sudut Vektor Aliran Udara

Karakterisasi sensor suhu PTC yang dipergunakan untuk menentukan sudut vektor aliran udara dilakukan dengan menempatkan cakram ukur pada sudut tertentu dalam aliran udara kanal mini dan diukur kurva arus dan tegangan masing-masing sensor. Sumber aliran udara yang akan diukur diperoleh dari kanal udara dengan kecepatan aliran konstan. Sementara perubahan sudut arah aliran udara yang akan diukur disimulasi dengan memutar cakram ukur pada sudur yang bersesuaian, sensor kemudian di karakterisasi dengan mengukur kurva $I(U)$ nya pada tegangan konstan.

Untuk mengamati karakteristik sensor sebagai fungsi dari geometri cakram ukur maka pada penelitian ini dikembangkan 3 jenis cakram yang sebagian telah dikarakterisasi seperti diperlihatkan pada gambar 5.16 berikut ini.



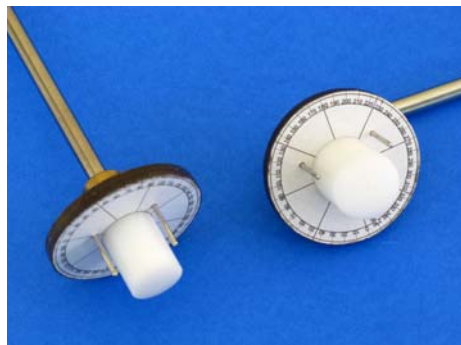
Gambar 5.16 Variasi jumlah sensor, dimensi dan bentuk inti halang cakram ukur

Pada gambar 5.16a terlihat cakram ukur memiliki 3 sensor EPCOS yang identik yang terletak pada sudut 120° satu sama lain (segi tiga sama sisi) dan ditengah-tengahnya terdapat inti halang. Masing-masing sensor akan memiliki faktor disipasi daya yang berbeda disebabkan posisinya yang berbeda terhadap inti-halang. Untuk melihat sejauh mana perubahan tegangan sensor terhadap inti maka dimensi inti divariasikan antara 0,6 inci sampai dengan 1 inci.

Pada gambar 5.16b, cakram ukur memiliki 4 sensor yang terletak secara kosentris 90° satu sama lain (persegi panjang). Variasi diameter inti-halang pada

cakram ukur kedua disamakan dengan inti cakram ukur pertama. Dari segi aliran udara, cakram satu dan kedua tidak memiliki perbedaan namun dari segi algoritma pengolahan data, sensor satu berbeda dengan dua dimana pengambil keputusan sudut ukur pada cakram kedua ditentukan oleh 4 sensor identik dibandingkan 3 sensor pada cakram pertama.

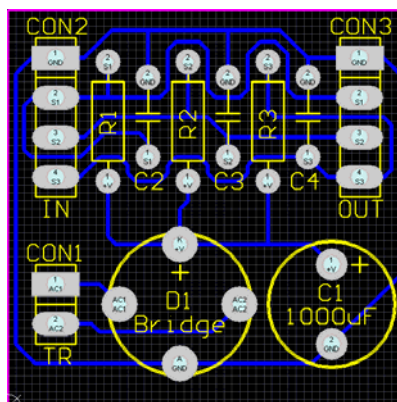
Sementara pada cakram ketiga, dipergunakan 3 sensor identik seperti pada cakram pertama namun sensor terletak pada ceruk sudut yang dibuat pada inti-halang. Hal ini bertujuan untuk melihat pola tegangan jatuh dari sensor suhu PTC akibat dialiri oleh arus aliran udara sesuai pola inti-halang dan mengenai permukaan sensor. Bentuk konkrit dari cakram ukur untuk jenis pertama diperlihatkan pada gambar 5.17 dibawah ini.



Gambar 5.17 Bentuk dan dimensi dari (a) cakram ukur untuk dudukan 3 sensor PTC yang tersusun identik

Pada permukaan cakram terdapat ukuran derajat yang diinginkan sehingga jika sensor 1 dipergunakan sebagai acuan referensi maka perpindahan sudut dihitung relative terhadap posisi awal sensor 1.

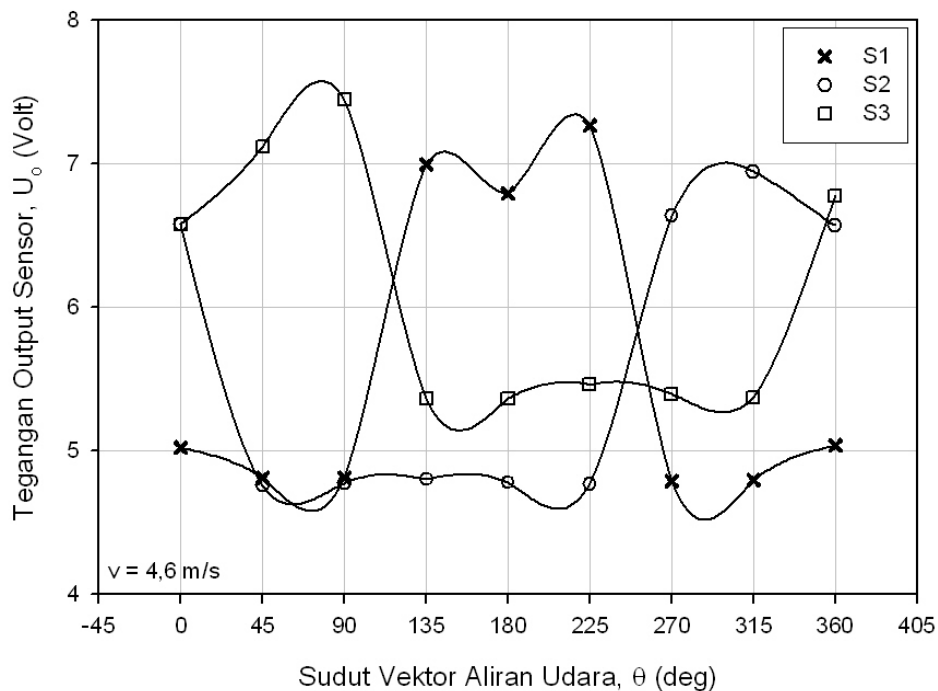
Untuk mengetahui besarnya perubahan tegangan keluaran ketiga elemen akibat pengaruh beda sudut vector aliran udara maka telah dirancang rangkaian pengolah isyarat sensor seperti gambar 5.18 berikut ini.



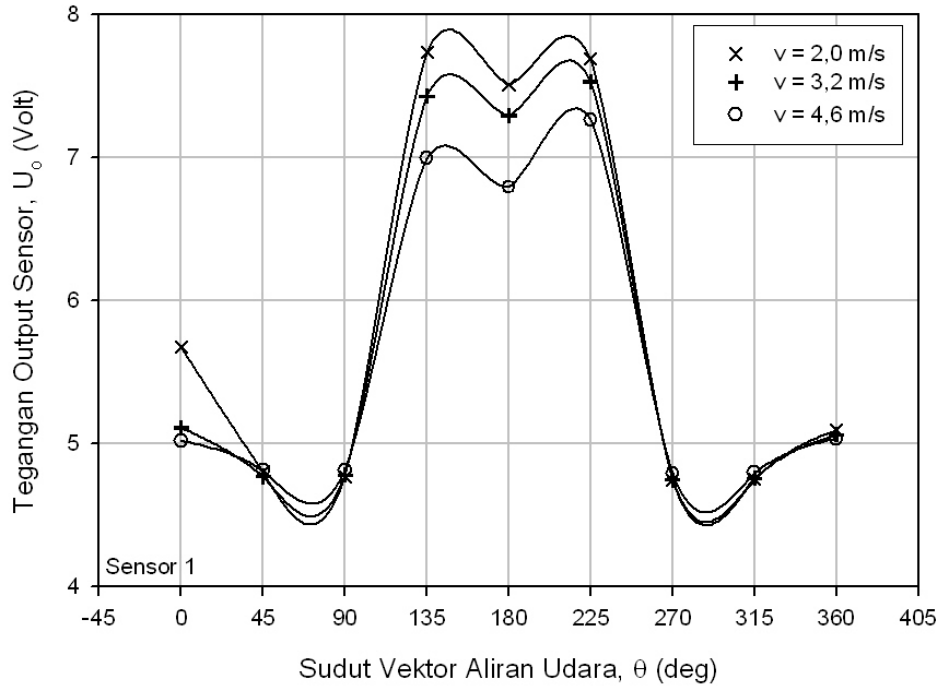
Gambar 5.18. Papan PCB untuk pengolah isyarat sensor

Hasil pengukuran ketiga sensor pada berbagai kecepatan aliran udara diberikan pada gambar 5.19 sampai gambar 5.22. Pada gambar 5.19 terlihat variasi amplitude tegangan output ketiga sensor U_{o1} , U_{o2} dan U_{o3} dalam Volt yang diukur pada berbagai sudut arah datang aliran udara. Terlihat pada gambar bahwa sensor 2 dan sensor 3 memiliki amplitude tegangan awal yang sama pada sudut 0 namun pada kenaikan sudut pengukuran memberikan nilai berbeda fasa.

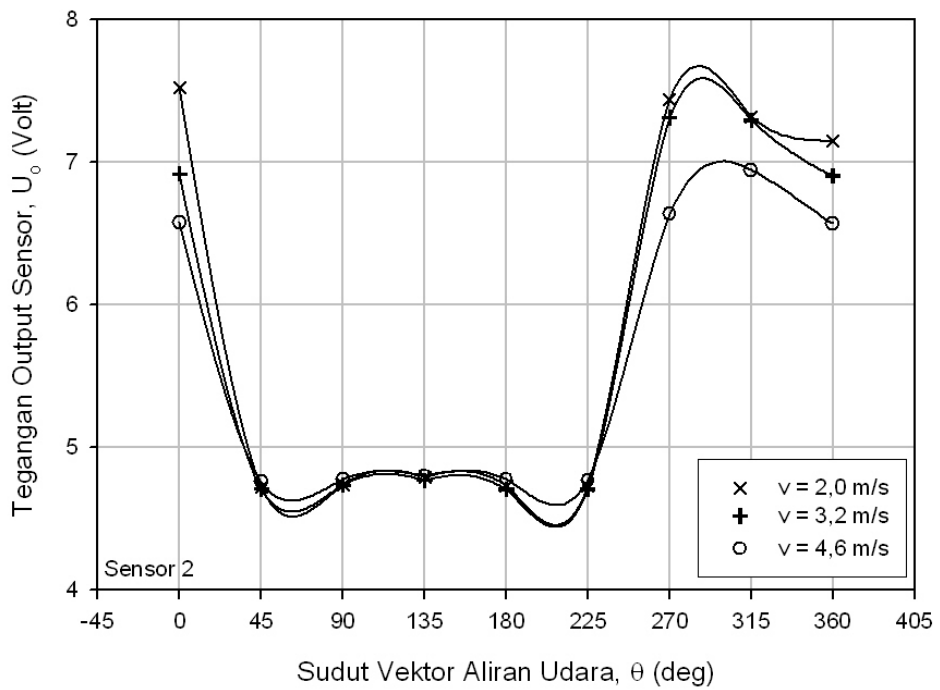
Sementara pengaruh kecepatan aliran udara yang tiba pada permukaan sensor suhu PTC tidak mempengaruhi pola hubungan antara tegangan keluaran dengan sudut arah aliran udara. Hal ini diperlihatkan pada gambar 5.20. sampai dengan 5.22 dimana perubahan kecepatan aliran pada $v = 2\text{m/s}$, $3,3\text{ m/s}$ dan $4,6\text{m/s}$ hanya kecil mempengaruhi perubahan amplitude dan tidak mengubah bentuk keluaran. Keluaran ini kemudian akan dibandingkan terhadap suatu tegangan referensi sehingga dapat ditentukan posisi dan arah vector aliran udara. Berdasarkan hal ini maka sensor suhu PTC dipergunakan sebagai sensor kecepatan dan sudut vektor aliran udara.



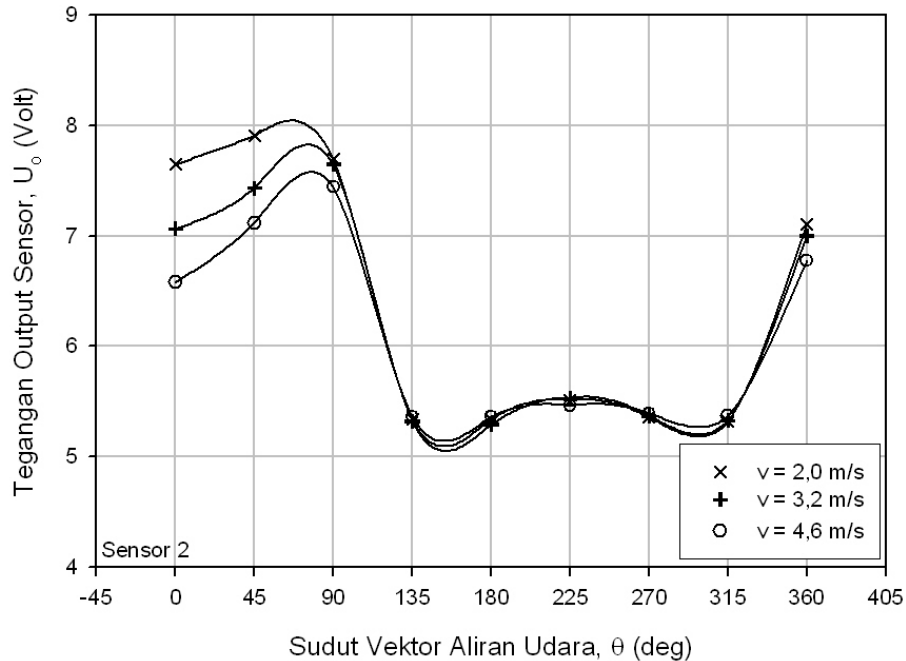
Gambar 5.19 Variasi tegangan keluaran sensor pada $v = 4,6\text{ m/s}$ konstan



Gambar 5.20 Pengaruh kecepatan udara pada sensor 1



Gambar 5.21 Pengaruh kecepatan udara pada sensor 2



Gambar 5.22 Pengaruh kecepatan udara pada sensor 3

Data pengukuran dari masing-masing sensor yang diukur mempergunakan ADC Card Velleman diperlihatkan tabel 3 berikut ini. Sensor diukur pada kecepatan aliran konstan 4,6m/s dan suhu lingkungan dipertahankan konstan pada 28,8°C.

Tabel 5.3. Pengukuran sudut vektor aliran udara pada $v = 4,6 \text{ m/s}$

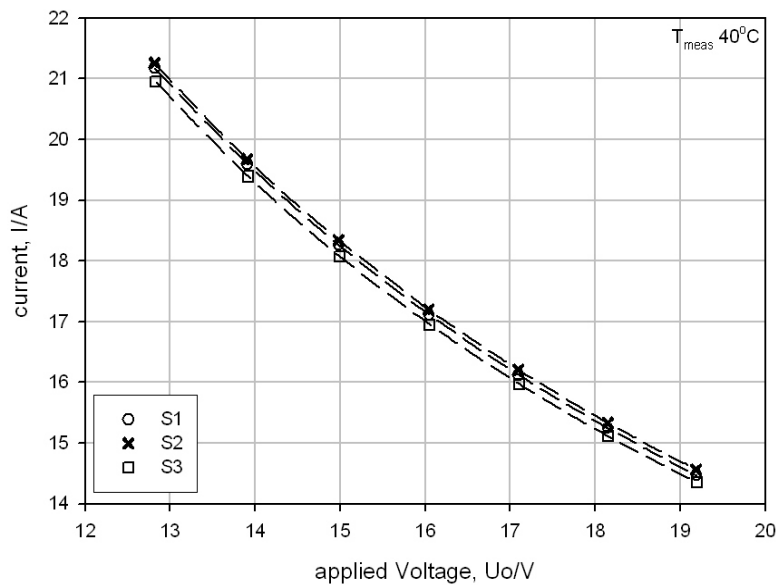
No.	Sudut Vektor Aliran Udara θ (°)	Suhu Lingkungan T_M (°C)	Tegangan Sensor (Volt)		
			V_{o1}	V_{o2}	V_{o3}
1.	0	28,8	9,4146	9,8544	9,7307
2.	45	28,6	7,6227	7,4814	10,3069
3.	90	28,6	7,8189	7,4652	10,0987
4.	135	29,2	9,8084	7,3112	10,1119
5.	180	28,8	9,8670	7,8765	7,3668
6.	225	29,0	9,7487	10,0487	7,6015
7.	270	28,8	7,5612	10,1378	7,3666
8.	315	28,6	7,7437	9,7765	7,3547
9.	360	28,8	9,2601	9,9154	9,6747

Perubahan tegangan keluaran dari masing-masing sensor memperlihatkan pola gelombang sinusoida untuk masing-masing sudut vector pengukuran.

V.4. Penelitian Simulasi Penuaan Sensor

Untuk melakukan simulasi penuaan, maka sensor diberi variasi tegangan 5-15V bergantian secara kontinyu sehingga sensor mengalami panas mendadak. Setelah itu, sensor akan dikarakterisasi untuk melihat apakah telah terjadi perubahan struktur dari sensor melalui perubahan parameter model RT_0 , R_0 dan B . Jika perubahan telah melewati 1% dari nilai parameter saat sensor pertama kali dipergunakan maka dapat diambil kesimpulan bahwa sensor telah rusak.

Hasil pengukuran kurva $I(U)$ untuk ketiga sensor RS identik yang dipergunakan pada cakram ukur diperlihatkan pada gambar 5.23 berikut. Data pada tabel 5.3 memberikan nilai perubahan parameter sensor setelah mengalami peristiwa simulasi "perusakan" pada minggu ke-3.



Gambar 5.23. Kurva $I(V)$ dari 3 sensor RS yang identik yang memperlihatkan drift akibat mengalami rekristalisasi pada proses uji long time stability

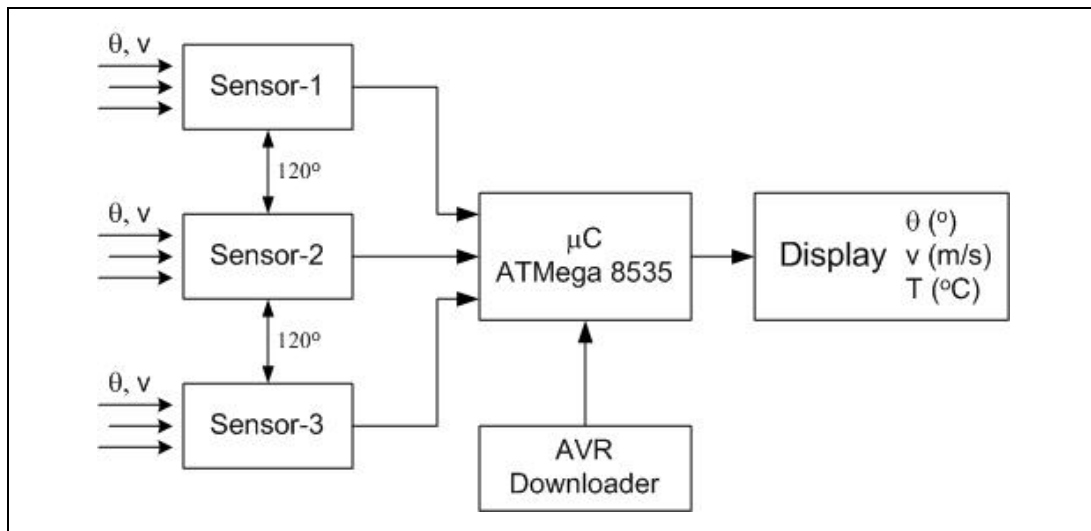
Tabel 5.4. Nilai Parameter Sensor Setelah Minggu ke-3

Parameter Sensor 1		Nilai Model		
RT_0	107.9180	108.0180	108.0180	108.0180
R_0	220.5256	210.0256	210.0256	210.0256
B	104.7232	104.7232	104.7232	104.7232
Parameter Sensor 2		Nilai Model		
RT_0	108.1180	108.0180	108.0180	108.0180
R_0	220.5256	210.0256	210.0256	210.0256
B	108.7232	104.7232	104.7232	104.7232
Parameter Sensor 3		Nilai Model		
RT_0	108.9180	108.0180	108.0180	108.0180
R_0	210.0456	210.0256	210.0256	210.0256
B	108.7232	104.7232	104.7232	104.7232

Sensor akan mengalami perubahan termal secara terus menerus dan penelitian akan dihentikan ketika nilai parameter telah berubah 1% dari nilai awal dimana sensor telah mengalami kerusakan.

V.5. Pengembangan Pengolahan Sinyal Dengan Mikrokontroler

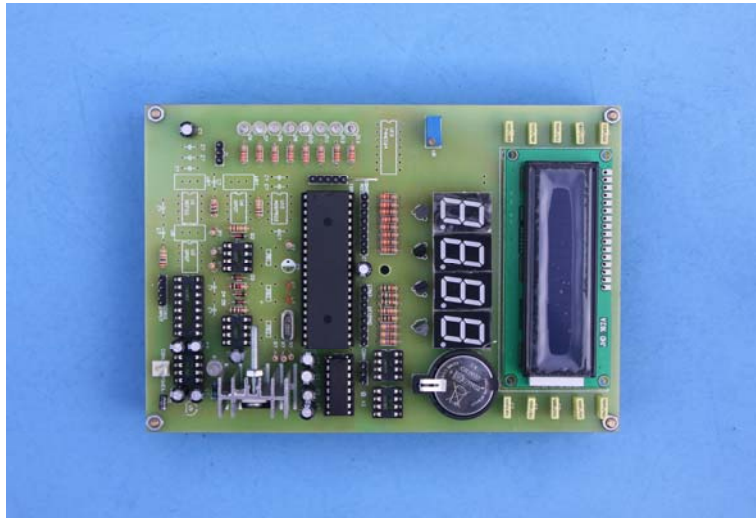
Pengembangan prosedur untuk mendeteksi kecepatan dan sudut vektor aliran udara yang dipaparkan diatas akan direkonstruksi dalam suatu algoritma untuk pengolahan sinyal dan diimplementasikan pada microcontroller berbasis mikrokontroler AT Mega 8535 yang mempunyai fasilitas port ADC 10 bit. Pemrograman mikrokontroler dilakukan mempergunakan program AVR Bascom dan dikompilasi mempergunakan downloader AVR. Adapun blok diagram dari sistem akuisisi data berbasis AT Mega 8535 diperlihatkan pada gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24. Blok diagram sistem akuisisi data berbasis AT Mega 8535

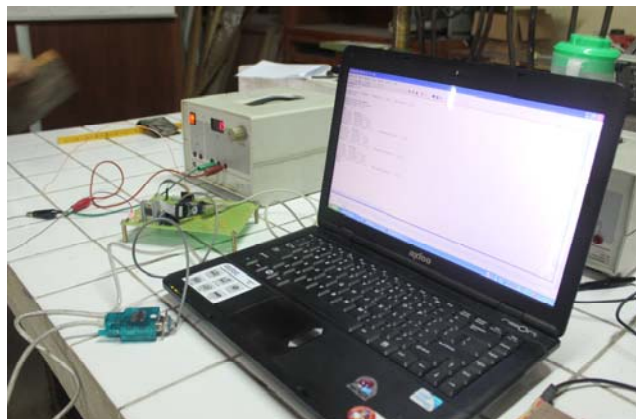
Sistem sensor airflow yang diimplementasikan pada mikrokontroler berbasis keluarga AT Mega 8535 akan meningkatkan kehandalan sistem pengukuran dan memungkinkan suplai tegangan terkontrol ke sensor, akuisisi arus dan tegangan melalui ADC serta komunikasi data ke PC via serial bus RS232. Prosedur ini mempermudah pengolahan data untuk menentukan; kecepatan dan sudut aliran udara serta mempunyai fitur oto-monitoring dan otokalibrasi yang memberikan kelebihan dibandingkan sensor airflow yang ada.

Pada penelitian ini telah dibuat prototipe awal rangkaian pengolah sinyal berbasis mikrokontroler seperti diperlihatkan pada gambar 5.25 dimana satu papan board berisikan mikrokontroler 8535 yang akan mengolah data yang diperoleh dari 3 sensor PTC dan menyusunnya untuk ditampilkan sebagai kecepatan, sudut vektor aliran udara serta suhu ambang.



Gambar 5.25. Papan PCB yang telah dirakit untuk akuisisi data

Agar dapat mengolah data maka mikroprosesor diprogram mempergunakan bahasa Bascom yang dikompil secara heksadesimal. Program yang dikompil tersebut dikirim melalui kompil ke mikrokontroler yang berisi perintah-perintah yang akan dipergunakan untuk mengolah data dari sensor dan menampilkan pada display. Bentuk pemrograman dan baris perintah yang dipergunakan untuk menginput data dari sensor diperlihatkan pada gambar 5.26 sampai 5.28 berikut.



Gambar 5.26 Proses pemrograman mikroprosesor mempergunakan kompil

```

Sub
  $regfile = "m8535.dat"
  $crystal = 11059200
  $baud = 9600

  Config ADC = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc
  Start ADC

  Dim Dataadc As Word
  Dim Datategangan As Single
  Const Vrefh = 5000

  Do
    Dataadc = Getadc(1)
    Datategangan = Dataadc * 1
    Datategangan = Datategangan * 5000
    Datategangan = Datategangan / 1024
    Datategangan = Datategangan / 1000
    Print "Tegangan channel satu:" ; Fusing(datategangan , "#.##") ; " Volt"

    Dataadc = Getadc(2)
    Datategangan = Dataadc * 1
    Datategangan = Datategangan * 5000
    Datategangan = Datategangan / 1024
    Datategangan = Datategangan / 1000
    Print "Tegangan channel dua:" ; Fusing(datategangan , "#.##") ; " Volt"

    Dataadc = Getadc(3)
    Datategangan = Dataadc * 1
    Datategangan = Datategangan * 5000
    Datategangan = Datategangan / 1024
    Datategangan = Datategangan / 1000
    Print "Tegangan channel tiga:" ; Fusing(datategangan , "#.##") ; " Volt"
  Waitms 500
  Loop

```

Gambar 5.27 Program akuisisi data dengan ADC dari mikrokontroler 8535

Gambar 5.28 Tampilan sementara keluaran ADC 1-3

Secara bertahap, pemrograman mikrokontroler untuk mengolah data serta program untuk menampilkan hasil di display akan berjalan paralel dengan pengukuran kecepatan udara.

Mikrokontroler yang telah dirancang diprogram dengan software BASCOM-AVR dengan bahasa program menggunakan bahasa Basic Compiler (BASCOM). Sebelum program dimasukkan ke dalam mikrokontroler, program tersebut diproses dan dieksekusi ke dalam bentuk bahasa mesin (dalam format HEX). Inisialisasi chip, crystal, baudrate diberikan sebagai berikut:

\$regfile = "m8535.dat"

\$crystal = 11059200

\$baud = 19200

Sinyal sensor yang masuk pada ADC mikrokontroler yang memiliki resolusi sebesar 10 bit dikonversi ke dalam bilangan desimal oleh ADC dalam bentuk data digital (0 sampai 1023) dengan persamaan konversi:

$$ADC = \frac{2,5 \times 1024}{5} = 512$$

Besarnya tegangan dari ketiga sensor yang terbaca berupa data digital akan diambil tegangan referensinya seperti terlihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 5.5. Dasar Penentuan Program Sudut Vektor Aliran Udara

No.	Data Sensor 1	Data Sensor 2	Data Sensor 3	Sudut θ (°)
1.	> 500	> 500	> 500	0
2.	< 500	< 500	> 500 & < 570	45
3.	< 500	< 500	> 570	90
4.	> 500	< 500	> 500	135
5.	> 500	< 500	< 500	180
6.	> 500	> 500	< 500	225
7.	< 500	> 500 & < 540	< 500	270
8.	< 500	> 540	< 500	315

Berdasarkan tabel 5.5, pemrograman mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan perintah pemanggilan. Pada penelitian ini hanya dibuat 8 variasi arah aliran udara saja. Berikut memperlihatkan ringkasan program untuk perintah pemanggilan sudut vektor aliran udara.

Untuk posisi 0°

```
If Sensor1 > 500 And Sensor2 > 500 And Sensor3 > 500 Then  
Sudut = 0  
End If
```

Untuk posisi 90°

```
If Sensor1 < 500 And Sensor2 < 500 And Sensor3 > 570 Then  
Sudut = 90  
End If
```

Untuk posisi 180°

```
If Sensor1 > 500 And Sensor2 < 500 And Sensor3 < 500 Then  
Sudut = 180  
End If
```

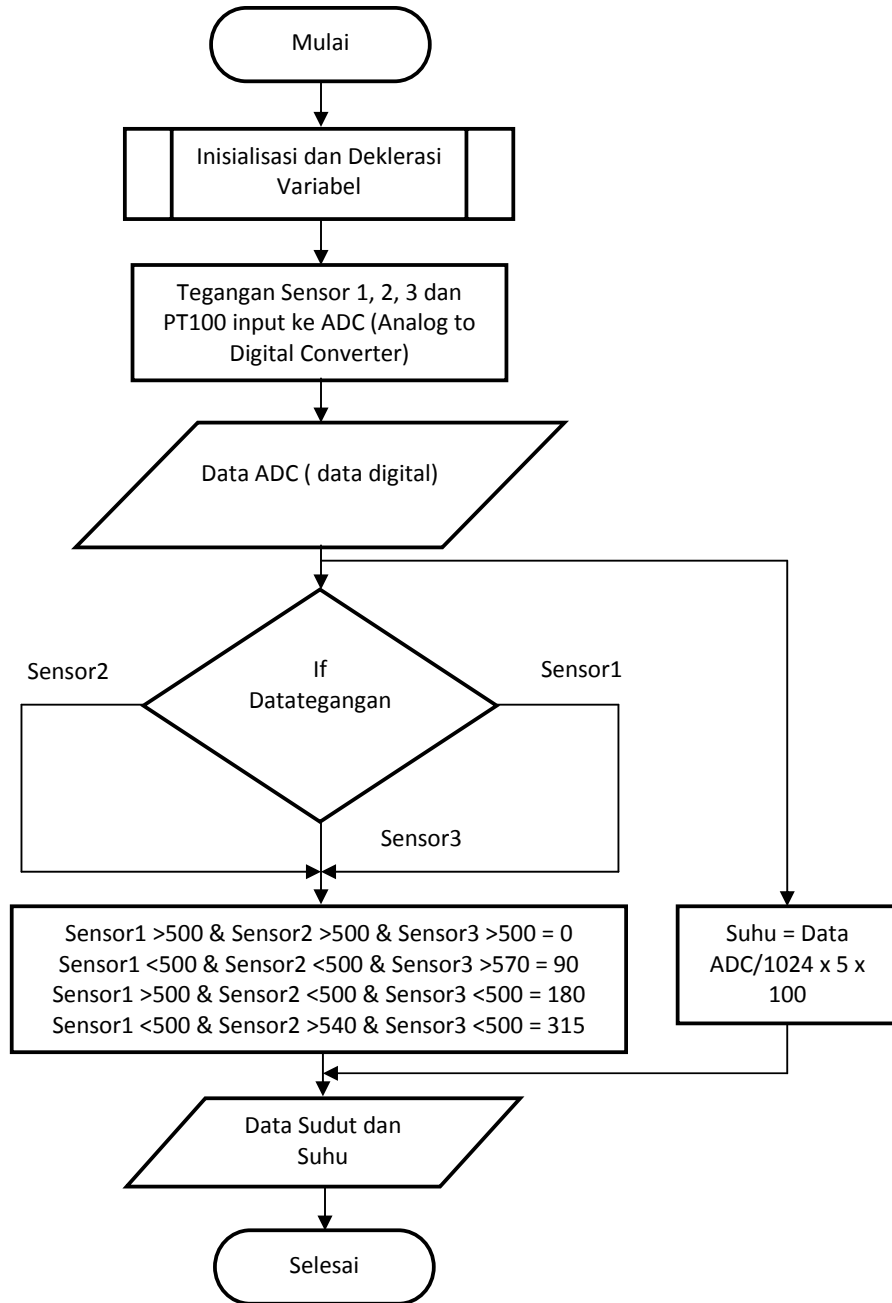
Untuk posisi 315°

*If Sensor1 < 500 And Sensor2 > 540 And Sensor3 < 500 Then
Sudut = 315
End If*

Mikrokontroler yang telah terprogram dihubungkan ke PC lewat hyperterminal melalui komunikasi serial RS232. Hyperterminal adalah merupakan suatu program yang dirancang untuk melakukan komunikasi dan emulasi terminal. Hyperterminal sendiri merupakan bagian dari sistem Microsoft.

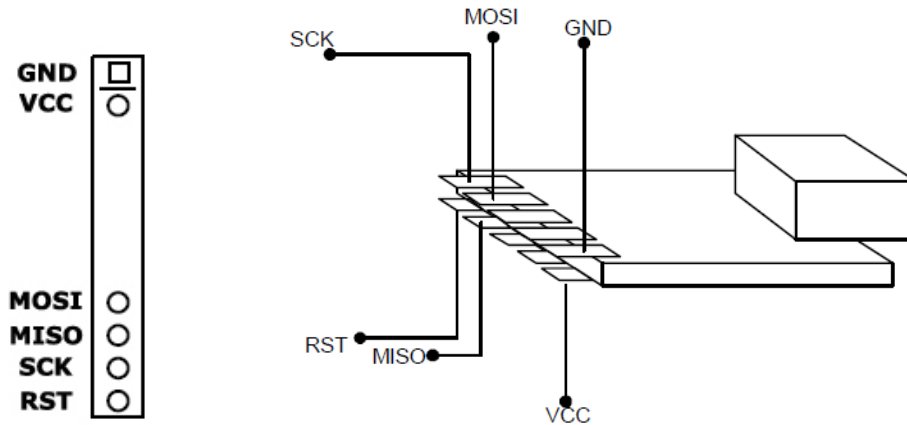
Berdasarkan contoh program diatas dapat dijelaskan bahwa untuk posisi 0° pada saat data digital dari sinyal ketiga sensor besar dari 500, maka mikrokontroler akan memanggil sudut 0 derajat dan menampilkannya ke hyperterminal. Untuk perintah posisi sudut yang lainnya dapat dilihat pada tabel 5.5. Langkah kerja dari program penentuan sudut arah aliran udara ini dapat dilihat pada diagram alir gambar 5.29 berikut.

Mikrokontroler yang dipergunakan ini dapat dijalankan dengan menggunakan BASCOM-AVR kemudian program akan didownload menggunakan software AVR Studio menggunakan programmer dengan tipe DU-ISP V4 yang disupport oleh WINXP, WIN Vista dan Win Seven 32 bit.



Gambar 5.29. Diagram alir program mikrokontroler

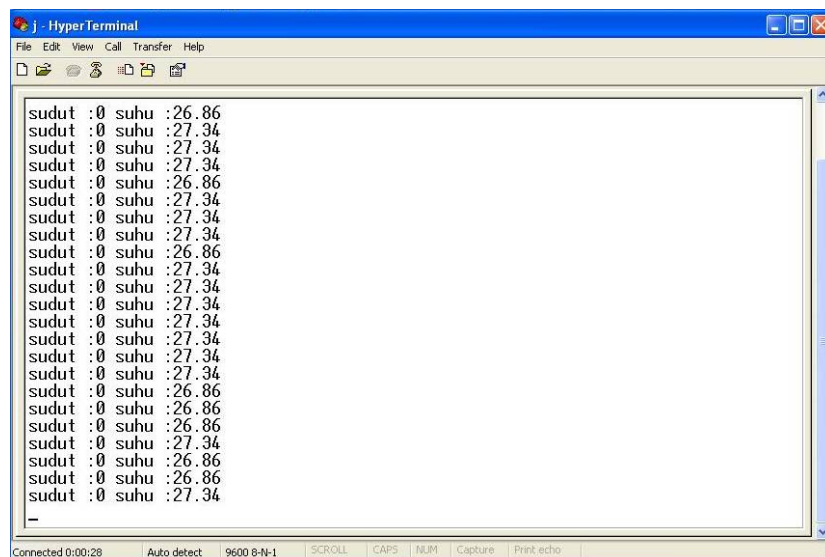
Adapun susunan konektor dari programmer DU-ISP V4 dapat dilihat pada gambar 5.30 di berikut ini.



Gambar 5.30. (a) ISP Port Kabel Target, (b) Tata Letak Port DU-ISP V4

Mikrokontroler yang telah terprogram akan dihubungkan ke PC lewat hyperterminal melalui komunikasi serial RS232. Biasanya koneksi ini menggunakan konektor DB9 untuk dapat menghubungkannya. Jika pada PC tidak dilengkapi dengan konektor DB9 bisa juga menggunakan converter USB to RS232. Kelebihan dari menggunakan converter ini adalah sudah menggunakan sistem USB untuk menghubungkannya.

Hyperterminal adalah merupakan suatu program yang dirancang untuk melakukan komunikasi dan emulasi terminal. Hyperterminal sendiri merupakan bagian dari sistem Microsoft. Adapun contoh pengujian program mikrokontroler yang telah didownload dan dihubungkan melalui hyperterminal terlihat pada gambar 5.31.



Gambar 5.31. Hasil Pembacaan Mikrokontroler Melalui Hyperterminal

V.6. Pembuatan Display Menggunakan Borland Delphi 7

Pembacaan mikrokontroler yang ditampilkan melalui hyperterminal tersebut dihubungkan ke software Borland Delphi 7. Pada penelitian ini parameter-parameter yang akan ditampilkan adalah arah sudut vektor aliran udara α ($^{\circ}$) dan suhu lingkungan T ($^{\circ}\text{C}$) beserta komponen tambahan yaitu tanggal dan waktu pengukuran. Data pengukuran tersebut akan tersimpan ke database secara otomatis. Settingan database yang dipergunakan pada penelitian adalah Microsoft Access 2007. Data yang tersimpan tersusun berurut sesuai dengan waktu pengukuran.

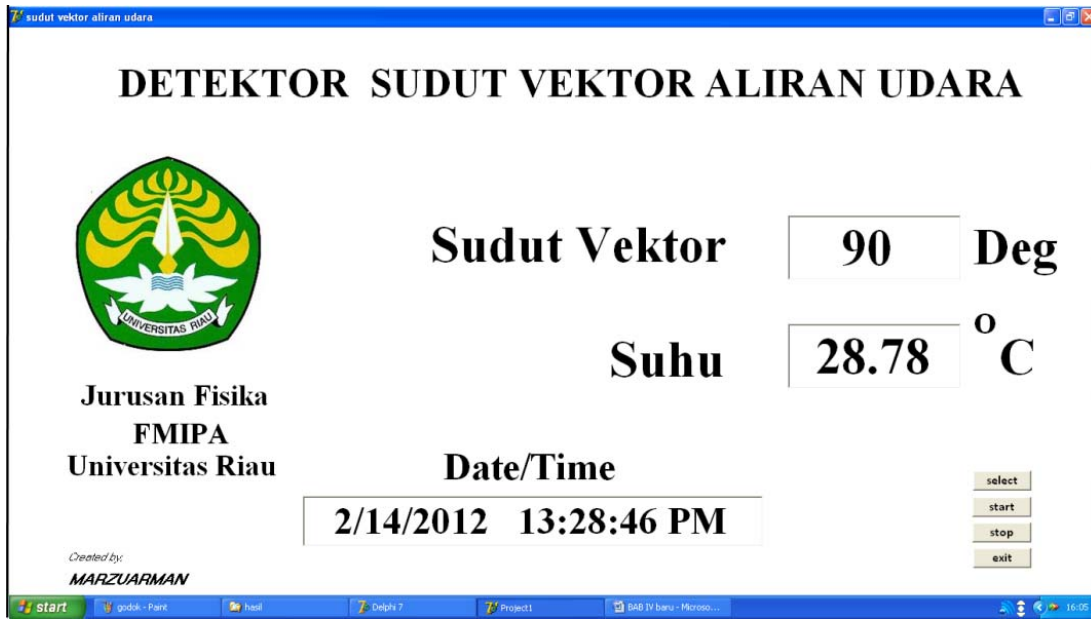
Pada saat port serial menampilkan data pada display diperlukan pengaturan pada port serial, baudrate, stopbit, flowcontrol dan parity. Pada tampilan terdapat tombol *select*, *start* dan *stop*. Pada saat mengklik tombol *select* maka akan muncul perintah pengaturan port serial seperti pada gambar 5.32 berikut untuk menampilkan data dari hyperterminal butuh perintah pemanggilan dari display melalui CPort.



Gambar 5.32.. Pengaturan Port Serial Pada Display

Setelah pengaturan port serial telah dilakukan maka program sudah bisa dijalankan dengan cara mengklik tombol *start* pada display, maka akan muncul seperti pada gambar 5.33 berikut.

Gambar 5.33 merupakan salah satu contoh pengukuran sudut vektor aliran udara pada posisi 90° dengan suhu lingkungan sebesar $28,78^{\circ}\text{C}$. Untuk mematikan program maka klik tombol *stop* pada display dan port serial akan tertutup. Tombol *exit* pada display untuk menutup dan keluar dari program.



Gambar 5.33. Tampilan Akhir Akuisisi Data

Data pengukuran pada display akan tersimpan otomatis kedalam database berupa susunan nomor data pengukuran, arah sudut vektor aliran udara, suhu lingkungan dan waktu pengukuran. Berdasarkan sistem kerja dari diagram alir pemrograman display tersebut data dari hyperterminal masuk melalui settingan port serial dan menunggu perintah selanjutnya dari user jika *start*, pengiriman data akan diteruskan dan program akan dijalankan secara terus menerus dan jika *stop*, pengiriman data akan terhenti. Data pengukuran kemudian akan tersimpan otomatis kedalam database berupa susunan nomor data pengukuran, arah sudut vektor aliran udara, suhu lingkungan dan waktu pengukuran.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dikembangkan suatu sensor untuk mengukur kecepatan dan sudut vector aliran udara mempergunakan sensor suhu PTC. Penentuan kecepatan aliran udara diperoleh melalui perubahan tahanan termal antara sensor dan lingkungan yang berubah secara signifikan akibat perubahan laju aliran udara yang melaluinya. Tahanan termal dapat ditentukan setelah kurva $I(U)$ yang diperoleh dari karakterisasi sensor secara statis dan dinamis diperoleh, kemudian dimodelkan mempergunakan metode kuadrat terkecil dimana suhu lingkungan secara implicit dimasukkan ke dalam perhitungan model.

Hasil ekstraksi data $I(U)$ menghasilkan parameter-parameter sensor seperti R_{T0} , B , T_C serta tahanan termal R_W . Parameter-parameter sensor ini menggambarkan karakteristik sensor selama pengoperasian, sementara R_W menyatakan kopling termal yang terjadi ketika sensor dipaksa mengeluarkan panas ke lingkungannya secara konveksi oleh turbin angin. Penentuan parameter model ditentukan melalui pemodelan kurva arus tegangan $I(U)$ -karakteristik pada kondisi tertentu, misalnya pada $v = 0$ m/s yang dipergunakan untuk mengkoreksi data yang diukur, juga pada $v \neq 0$ m/s.

Pengamatan parameter ini dapat dipergunakan sebagai fungsi smart dari sensor dimana terjadinya kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh debu, ohmic bridges, shortcuts dan faktor penuaan dari parameter model, yang dideteksi dan secara efektif dikompensasi tanpa memerlukan tambahan pengukuran ekstra. Lebih jauh, karakteristik sensor dapat secara langsung dimonitor sehingga dapat meningkatkan faktor kehandalan dan akurasi pengukuran.

VI.2. Saran

Karakterisasi sensor suhu PTC dapat dilakukan lebih baik mempergunakan suatu kanal udara yang memberikan aliran udara yang lebih homogen sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat. Kemudian dengan mempergunakan card ADC yang lebih presisi serta sumber arus konstan maka perubahan arus yang diakibatkan perbedaan disipasi daya dari masing-masing sensor akibat berbeda sudut dapat lebih jelas teramati.

DAFTAR PUSTAKA

1. Al-Allak H. M., J. Illingsworth, A. W. Brinkman, and J. Woods, "Current-voltage characteristics of donor-doped BaTiO₃ ceramics," *Journal of Physics D*, vol. 22, Sept. 1989, pp. 1393-1397.
2. Andrews, G.E.; Bradley, D.; Hundy. G. F., Hot wire anemometer *calibration* for measurements of small gas velocities: Int. J. Heat Mass Transfer: Val. 15. No. 1.0. (1972), pp. 1765- 1786.
3. Bradshaw P., Thermal *methods of flow* measurements, Journal of Scientific Instruments (Journal of Physics E) Series 2, Vol. 1 (1968), pp. 504-509.
4. Feustel, O.; Schmidt, W.: Sensorhalbleiter *und* Schutzelemente, *Auswahlkriterien und Berechnungshinweise* for Thermistoren *und* edelgasgefüllte *Überspannungsableiter*. Vogel Verlag, 1982.
5. Hanke, L: Der *keramische* Kaltleiter. Siemens AG Verlag, Erlangen, 1973.
6. Heywang W., "Resistivity anomaly in doped barium titanate," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 47, no. 10, 1964, pp. 484-490
7. Hill, D.; Tuller, H.: Ceramic Sensors: Theory *and* Practice. Ceramic Materials for Electronics, R. Buchanan, ed., Marcel Dekker, Inc., New York, 1991.
8. Horn, M., Umar L. Self-controlled PTC Sensor for Reliable Overfill Protection of *Liquids*. IMTC 2002 IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference. 21. -23. Mai, Anchorage Alaska USA, 2002.
9. Lazuardi Umar, Smart airflow measurement system *with* self control *and* self *calibration*, Final Report of Indonesia Toray Science Foundation (ITSF) 2005, February 2005.
10. Mallick Jr. G. T. and Emtage P. R., "Current-voltage characteristics of semiconducting barium titanate ceramics," *Journal of Applied Physics*, vol. 39, 1968, pp. 3088-3094.
11. Makinwa K., Huijsing J., A smart *wind* sensor *based* on thermal sigma-delta *modulation techniques*, Sensors & Actuators A97-98 (2002), pp. 15-20.
12. Otto, J. 2002. *Methoden der Füllstandsmesstechnik, Eine aktuelle Übersicht*. VDI-Berichte 1712, Füllstandsmesstechnik in der industriellen Praxis, Tagung Frankfurt, 4.-5. Dezember.
13. Raouf Ismail, *Air velocity* measurement using thermistor, Cambridge AccuSense, Inc., Shirley, MA USA, 1999.
14. Roth, P.: Ceramic PTC thermistor as sensor, Level measurement made

easy. Siemens Matsushita Components GmbH, München.

15. Schneider, G.; *Selbstüberwachung und Selbstkalibrierung von Sensoren*. Automatisierungstechnische Praxis atp 38, Heft 9 (1996), S. 9-17.
16. Sostmann, H.: Thermistor Thermometer. Fundamentals of Thermometry Part IV, Isotech Journal of Thermometry, Volume 8 No. 2 (1997), S. 66-84.
17. Stephen J Prosser and Ernest D.D. Schmidt, Smart sensors for *industrial* applications, Microelectronic International 16/2, 1999.
18. Trankler, H.-R: *Taschenbuch der Messtechnik* mit Schwerpunkt *Sensortechnik*. Oldenburg Verlag, 4.Auflage, 1996.
19. VDI 3519 Blatt 1-2. Füllstandmessung von Flüssigkeiten und Feststoffen (Schüttgütern). VDI/VDE Verlag, S. 27-32.
20. Veijola T., "Electrothermal simulation models for NTC and PTC thermistors", *Proceedings of CSC'98*, vol. 2, Greece, 1998, pp. 950-955.
21. Wise, J.A.: *Stability of Glass-Encapsulated Disc-Type Thermistors*. Temperature, Its Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 6, James F. Schooley, ed., American Institute of Physics, New York, NY, p. 481, 1992.
22. Wood, S.D.: *An Investigation of the Stability of Thermistors*. J. Res. of the National Bureau of Standards, 83(247), 1978.

LAMPIRAN

1. Laboratorium

Penelitian ini akan dilaksanakan pada Laboratorium Fisika Terapan dan Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau. Masing-masing laboratorium mempunyai luas 130m² yang dilengkapi ruang dosen dan ruang peralatan. Kegiatan penelitian ini utamanya akan dilaksanakan pada laboratorium Fisika Terapan dan tempat yang memadai menjamin sepenuhnya (100%) dapat menunjang kegiatan yang diusulkan ini.

2. Peralatan Utama

Adapun alat-alat yang tersedia di laboratorium fisika terapan cukup mendukung pelaksanaan penelitian yang direncanakan seperti:

No.	Nama Alat	Kegunaan	Jumlah	Kondisi
1.	Osiloskop Digital Philips PM3382 100Mhz 200mS/s	Mengukur, Tampilan Pengukuran	1	Baik
2.	Osiloskop Digital Storage Kenwood Tipe CS8010	Mengukur, Tampilan Pengukuran	1	Baik
3.	Multimeter Digital Advantest Tipe R8240	Multimeter Pengukur Tegangan	4	Baik
4.	Fungsi Generator Fluke / Philips Tipe PM5133 10mHz - 2MHz	Penghasil Gelombang/Isyarat	1	Baik
5.	Fungsi Generator Philips Tipe PM5135 1mHz - 2MHz	Penghasil Gelombang/Isyarat	1	Baik
6.	Termostat Heraus Tipe 6060 T _{max} = 300°C	Ruang Kalibrasi Suhu	1	Baik
7.	Sweep Fungsi Generator BK Precision Tipe 3017	Penghasil Gelombang/Isyarat	1	Baik
8.	Sensor suhu PT100 Metal Housing	Sensor Pengukur Suhu	2	Baik
9.	Multifunction Power Supply Tipe Leybold 52145	Sumber Arus Konstan	2	Baik
10.	ADC Card Velleman + Software PC2000	Antarmuka A/D converter	1	Baik
11.	Personal Komputer Pentium-IV dengan 2,8GHz Software MathLab, MathCad, Sigma Plot dan Table Curve	Pengolah Data Pengukuran	1	Baik
12.	Digital Multimeter dengan RCL Meter Tipe Sanwa CD800a	Multimeter Pengukur Tegangan	2	Baik
13.	Hewlett Packard Quartz Thermometer Tipe 2804A	Pengukur Suhu Digital	1	Baik
14.	Hewlett Packard Digital Voltmeter Tipe HP3456A	Pengukur Tegangan Digital	1	Baik
15.	Keithley Nanovoltmeter Tipe 181	Pengukur Tegangan Mikro	1	Baik
16.	USB-basiertes Analog- and Digital-E/A-Modul Tipe ME-RedLab 1608FS	Antarmuka A/D converter	1	Baik
17.	PC Oscilloscope Tipe Voltcraft DSO-220USB 50MHz	Mengukur, Tampilan Pengukuran	1	Baik

3. Keterangan Tambahan

Untuk mendukung terlaksananya penelitian ini seperti pembuatan alat/prototip dapat dilakukan pada bengkel Fakultas Teknik Universitas Riau di Pekanbaru serta kerjasama dengan beberapa bengkel pada institusi di luar Pekanbaru seperti dengan bengkel kerja jurusan Fisika ITB Bandung. Disamping itu untuk mendukung penelitian ini telah dilakukannya kerjasama sebelumnya dengan Institut fuer Mess- und Automatisierungstechnik, Universitaet der Bundeswehr Muenchen Jerman dalam pengadaan literature serta pembuatan alat yang tidak tersedia/dapat dilakukan di Indonesia.

4. Kualifikasi Peneliti dan Anggota Peneliti

No.	Nama dan Gelar Akademik	Bidang Keahlian	Instansi	Alokasi Waktu
				Jam/minggu
1.	Dr.-Ing Lazuardi Umar	Elektronika dan Instrumentasi	FMIPA UNRI	60
2.	Rahmondia NS, M.Si	Fisika Instrumentasi	FMIPA UNRI	40
3.	Marzuarman	Fisika	FMIPA UNRI	40



BKS PTN-B MIPA

2012

mti

Prosiding

**BIDANG
FISIKA**

SEMINAR & RAPAT TAHUNAN

BKS-PTN B Tahun 2012

BIDANG ILMU MIPA
Badan Kerjasama Perguruan Tinggi Negeri
Wilayah Barat

Tema :
*Peran MIPA dalam Pengembangan
SDM dan SDA*

Hotel Madani Medan
11 - 12 Mei 2012



Penyelenggara
**FMIPA
UNIVERSITAS
NEGERI MEDAN**



Jl. Willem Iskandar, Psr V Medan 20221

Telp. (061) 6625970 Medan

www.semirataunimed.com Email: semiratabks2012@yahoo.co.id

***Self Heated* Sensor PTC Sebagai Detektor Sudut Vektor Aliran Udara**

Lazuardi Umar, Rahmondia N. Setiadi, Marzuarman

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. Prof. Dr. Muchtar Lutfi Sp. Baru Pekanbaru 28293
Email: lazuardi@unri.ac.id

Abstrak. Telah dilakukan pembuatan detektor sudut vektor aliran udara menggunakan sensor PTC (*positive temperature coefficient*). Elemen sensor terbungkus hermetis dalam rumahan *stainless steel* yang dirangkai seri menggunakan tahanan $R_s = 100\Omega$ pada tegangan konstan 15V. Dimensi detektor berbentuk cakram silinder dari bahan Teflon dengan diameter $\phi = 1,25$ inci dan tinggi 1,5 inci. Vektor aliran ditentukan dari konfigurasi tiga elemen sensor yang ditempatkan pada bidang medan aliran asimetris berbentuk sudut 0° , 120° , dan 240° . Pengujian sifat identik dan disipasi daya termal dilakukan dengan mengukur kurva arus tegangan, $I(U)$ sensor pada variasi suhu lingkungan dengan kecepatan aliran udara $v = 0$ m/s. Suhu lingkungan diukur mempergunakan sensor suhu PT100. Pengaruh sudut aliran udara terhadap tegangan keluaran masing-masing sensor disimulasikan pada kecepatan udara 2,0 m/s, 3,2 m/s dan 4,6 m/s, sementara pengolahan isyarat dilakukan dengan implementasi algoritma berbasis mikrokontroler ATmega8535. Dari pengujian diperoleh bahwa detektor sudut vektor ini mampu mengukur sudut dari 0° sampai 360° dalam 8 arah sudut vektor dan menampilkan suhu lingkungan.

Kata kunci: *Self-heated*, sensor PTC, sudut vektor aliran, mikrokontroler, algoritma

I. Pendahuluan

Pengukuran arah sudut aliran udara mempergunakan *wind direction sensor* telah banyak dipergunakan seperti untuk memonitor arah aliran udara pada suatu daerah tertentu. Aplikasi sensor ini dikombinasikan dengan anemometer dipergunakan utamanya untuk monitoring kecepatan angin di stasiun cuaca dan airport, mengontrol aliran udara di mesin pengering hasil-hasil pertanian perikanan.

Dewasa ini terdapat berbagai metode pengukuran sudut aliran udara seperti metode termal, mekanis (rotor) atau ultrasonik dengan harga yang relatif mahal. **Park et al [2003]** mendesain suatu sensor termal berbasis teknologi MEMS untuk mendeteksi arah aliran udara mempergunakan struktur baru dari bahan Pt. Beberapa sensor arah aliran udara lainnya mempergunakan suatu kontak

sikat yang membagi arah angin menjadi 8 atau 19 sektor titik kompas dan mempergunakan potentiometer untuk memodelkan arah aliran. Tegangan yang jatuh pada potensiometer bervariasi secara langsung pada arah angin. Jika angin berubah, sumbu lidah angin berubah dan mengubah tahanan potensiometer [Wilmers, 2000: Campbell Scientific, 1998].

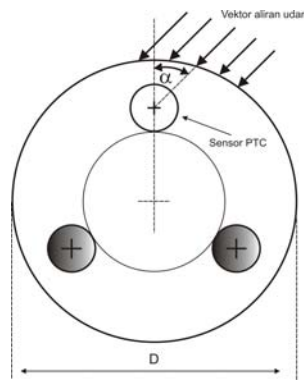
Pada sensor lainnya, potensiometer diganti dengan magnet yang terletak pada sumbu pengindra. Perubahan arah angin akan memutar posisi magnet pada sumbu. Untuk mendeteksi perubahan sudut maka empat sensor efek Hall akan mengukur arah setiap detik dan mikrokontroler akan menghitung arah rata-rata pada periode ukur. Vaisala [2000] menawarkan sensor sudut aliran udara berdasarkan prinsip ultrasonic untuk mengukur arah dan kecepatan angin horizontal. Pengukuran dilakukan berdasarkan waktu transit yang diperlukan gelombang ultra menjalar dari satu transduser ke lainnya yang bergantung pada sudut arah aliran udara. Umumnya sensor seperti dijelaskan di atas memiliki kelebihan tingkat akurasi yang tinggi, robustness, handal namun memiliki kelemahan diantaranya adalah factor histerisis mekanis yang dapat terjadi pada sensor dengan bagian yang bergerak dan harga relative mahal.

Pengembangan sensor suhu positive temperature coefficient (PTC)-thermistor sebagai detektor arah aliran udara belum banyak ditemui pada literatur. Sensor ini memiliki kelebihan yaitu kekuatan, kehandalan, akurasi dan waktu pengujian yang singkat. Dimensi sensor yang mini memberikan fleksibilitas untuk pengukuran pada tempat kecil serta harga yang relatif murah jika dibandingkan sensor lainnya. Sensor PTC mempunyai beberapa fitur unik dibandingkan dengan sensor airflow tipe lainnya [Raouf Ismail, 1999] seperti sifat interchangeability dimana masing-masing sensor kompatibel dengan sensor lainnya.

Berdasarkan hal tersebut maka akan jelaskan suatu bentuk sistem deteksi mempergunakan sensor PTC pada mode *self heated* yang dapat mengukur sudut vektor aliran udara. Pengolahan sinyal yang diperoleh dari transduser PTC mempergunakan mikrokontroler ATmega8535 untuk kehandalan sistem pengukuran.

II. Prinsip Pengukuran Sudut Vektor Aliran Udara

Sudut aliran udara ditentukan dengan mempergunakan konfigurasi tiga elemen sensor pada suatu bidang aliran silindris pada medan aliran asimetris, seperti diperlihatkan pada gambar 1 berikut ini. Struktur medan aliran asimetris dua dimensi ini memungkinkan pada penelitian ini untuk mengukur tegangan setiap sensor PTC yang bergantung pada sudut vektor aliran udara α dan kecepatan aliran udara v yang datang.



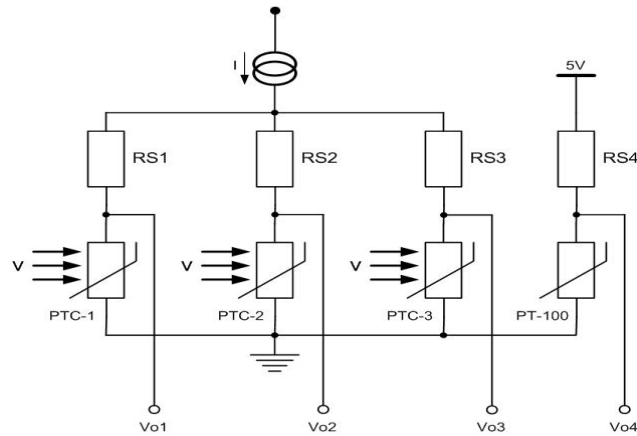
Gambar 1. Susunan tiga elemen sensor suhu PTC-thermistor ditempatkan pada sudut tertentu pada bidang alir silindris

Secara umum persamaan sensor dapat dimodelkan seperti persamaan berikut:

$$U_{PTC}(v, T, \alpha) = U_{0k}(v, T) + U_{1k} \cdot f(\alpha, \Delta\alpha_k) \quad (1)$$

dimana, $k = 1, 2, 3$ dan $\Delta\alpha_1 = 0^\circ$, $\Delta\alpha_2 = 120^\circ$, $\Delta\alpha_3 = 240^\circ$.

Umumnya aplikasi PTC thermistor adalah berdasarkan kondisi *steady state self-heated*. Jika tegangan catu konstan maka daya listrik yang melalui thermistor sensor adalah setara dengan panas yang terdisipasi dari permukaan sensor ke lingkungannya [Feustel, 1982]. Perubahan disipasi panas sensor akibat arah aliran udara diukur mempergunakan sumber arus atau tegangan konstan seperti pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Rangkaian Kalibrasi Karakteristik Elektris 3 Sensor PTC.

Besarnya tegangan keluaran V_0 masing masing sensor adalah:

$$V_{0i} = R_{PTC} \cdot I \quad \text{dengan } i = 1, 2 \text{ dan } 3 \quad (2)$$

Pengukuran sudut vektor aliran udara dilakukan secara simultan mempergunakan prosedur optimasi dengan mengukur tegangan keluaran V_{O1} , V_{O2} , V_{O3} dari ketiga elemen sensor serta tegangan keluaran sensor PT-100 untuk mengukur suhu lingkungan V_{O4} .

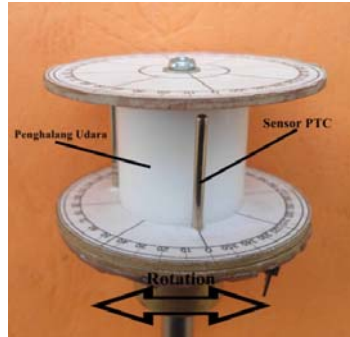
III. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dipergunakan sensor *positive temperature coefficient* (PTC) yang terbuat dari bahan semikonduktor Barium Titanate (BaTiO_3) dari perusahaan Firma Epcos-AG dengan tegangan kerja maksimum 18V. Dimensi sensor yang terbuat dari rumah stainless steel sangat cocok dipergunakan sebagai pendeteksi aliran udara.

A. Karakterisasi Detektor Pada Variasi Sudut Vektor Udara

Detektor sudut vektor aliran udara terbuat dari cakram ukur dari bahan pertinaks berdiameter 2 inci dengan 3 elemen sensor PTC masing-masing pada sudut 0° , 120° , dan 240° . Pada bagian tengah cakram terdapat silinder Teflon dengan diameter 1,25 inci dan tinggi 1,5 inci yang berfungsi sebagai pelindung

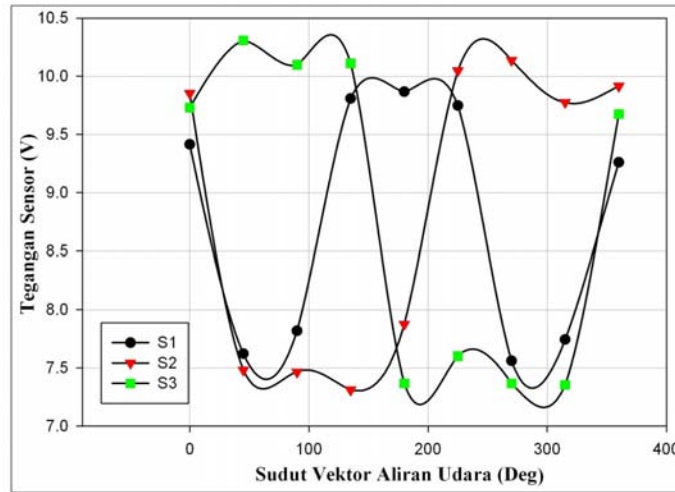
udara, lihat gambar 3. Sementara perubahan sudut arah aliran udara disimulasikan dengan memutar cakram ukur pada sudut yang bersesuaian, sensor kemudian di karakterisasi dengan mengukur kurva $I(U)$ nya.



Gambar 3 Dimensi cakram ukur untuk menentukan sudut vektor

Sensor PTC dirangkai seri menggunakan $R_s = 100\Omega$ dan sebuah sensor suhu PT100 yang berfungsi untuk mengukur suhu lingkungan. Ketiga sensor suhu PTC ini diberi sumber tegangan konstan U sebesar 15V. Perubahan tegangan jatuh pada ketiga sensor akan terukur. Masing-masing sensor mengalami disipasi daya yang berbeda disebabkan posisi dari sensor yang terhalang oleh pelindung udara. Hal ini akan mempengaruhi besar arus yang mengalir dan tegangan keluar dari sensor. Akibat perbedaan ini terjadi variasi amplitudo ketiga sinyal sensor dalam bentuk tegangan pada berbagai variasi sudut arah aliran udara.

Dari ketiga variasi tegangan jatuh sensor maka akan didapat hubungan antara sudut vektor aliran udara dengan perubahan tegangan dari ketiga sensor. Gambar 4 berikut memperlihatkan hasil pengukuran amplitudo tegangan keluaran sebagai fungsi dari sudut detector, diukur pada kecepatan aliran udara 4,6 m/s.

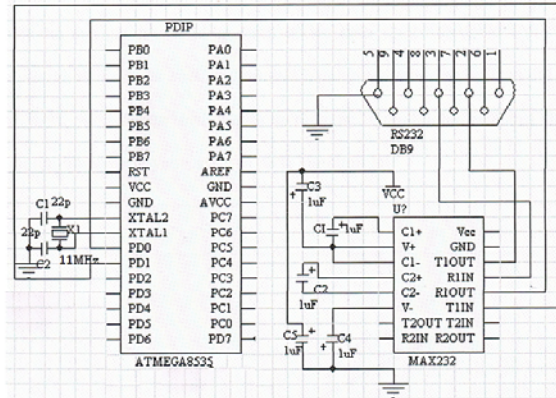


Gambar 4 Variasi amplitude keluaran masing-masing sensor untuk setiap perubahan sudut. Sensor diukur pada kecepatan aliran udara sebesar $v = 4,6 \text{ m/s}$

Data hasil pengukuran ini dibaca dan diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan ke PC melalui serial interface.

B. Rangkaian Mikrokontroler dan Komunikasi Serial ATmega 8535

Pada mikrokontroler ATmega 8535 terdapat 8 channel ADC internal yang terletak pada PORT A yang menjadi input untuk ketiga sensor PTC dan sensor PT100 yang berfungsi mengukur suhu lingkungan [Atmel, 2006]. Sinyal sensor berupa sinyal analog dikonversi dalam bentuk data digital oleh ADC mikrokontroler. Mikrokontroler membaca dan mengolah sinyal sensor yang telah dikonversi kedalam data digital melalui serial interface menuju ke rangkaian RS232 (menggunakan IC MAX232), RS232 akan menghubungkan ke PC melalui hyperterminal dengan konektor DB9, lihat gambar 5 berikut ini.



Gambar 5 Skema Rangkaian Mikrokontroler ATmega8535 dan Komunikasi Serial MAX232

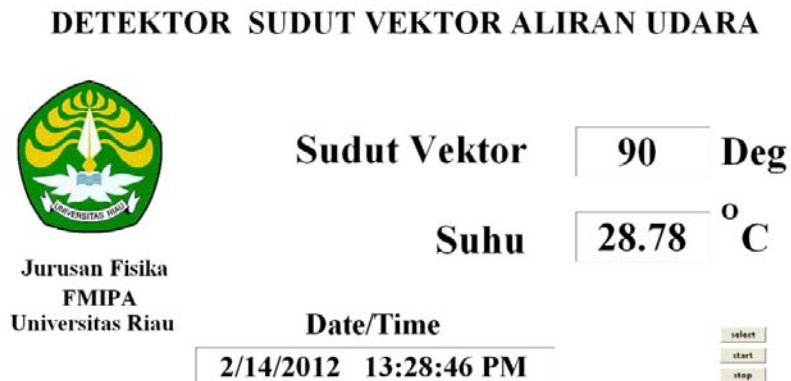
Sinyal sensor yang masuk pada ADC mikrokontroler yang memiliki resolusi sebesar 10 bit dikonversi ke dalam bilangan desimal oleh ADC dalam bentuk data digital (0 sampai 1023). Penentuan sudut dari aliran udara ditentukan dari data cuplikan ADC untuk sudut aliran udara yang bersesuaian seperti pada table 1 berikut.

Tabel 1. Pemrograman Penentuan Sudut Vektor Aliran Udara.

No.	Data Sensor 1	Data Sensor 2	Data Sensor 3	Sudut θ (°)
1.	> 500	> 500	> 500	0
2.	< 500	< 500	> 500 & < 570	45
3.	< 500	< 500	> 570	90
4.	> 500	< 500	> 500	135
5.	> 500	< 500	< 500	180
6.	> 500	> 500	< 500	225
7.	< 500	> 500 & < 540	< 500	270
8.	< 500	> 540	< 500	315

Berdasarkan tabel 1, pemrograman mikrokontroler dilakukan dengan menggunakan perintah pemanggilan. Pada penelitian ini hanya dibuat 8 variasi

arah aliran udara saja. Hasil pembacaan dari mikrokontroler yang ditampilkan melalui hyperterminal tersebut akan dihubungkan ke software Borland Delphi 7. Untuk dapat menghubungkan hyperterminal ke program Borland Delphi diperlukan komponen yang disebut Comport. Comport dipasang atau diinstall pada program Delphi dan akan muncul pada program Delphi tersebut dengan nama CPortlib. Pada saat tombol *start* diklik maka koneksi serial akan dibuka dan mikrokontroler akan mengirim data ke display dan data akan tersimpan ke database melalui komunikasi serial kemudian akan muncul data pengukuran dari sudut vektor aliran udara dan suhu lingkungan, lihat gambar 6.



Gambar 6. Tampilan Akhir Akuisisi Data

Sedangkan jika tombol *stop* pada display diklik maka komunikasi serial akan tertutup sehingga pengiriman data terhenti dan tombol *exit* pada display berfungsi untuk menutup program. Hasil pengukuran memberikan informasi sudut vektor aliran udara pada posisi 90° dengan suhu lingkungan sebesar $28,78^\circ\text{C}$. Data yang tersimpan pada database adalah berupa susunan nomor data pengukuran, arah sudut vektor aliran udara, suhu lingkungan dan waktu pengukuran.

4. Kesimpulan

Pengukuran sudut vektor aliran udara telah berhasil mempergunakan cakram ukur di dalam struktur medan aliran asimetris dengan tiga elemen

sensor suhu PTC identik. Perubahan tegangan elemen sensor terjadi akibat adanya perubahan sudut vektor aliran udara α dan kecepatan aliran udara v yang datang. Umumnya aplikasi sensor PTC adalah berdasarkan kondisi *steady state self-heated*. Masing-masing sensor mengalami disipasi daya yang berbeda disebabkan posisi dari sensor yang terhalang oleh pelindung udara. Hal ini akan mempengaruhi besar arus yang mengalir dan tegangan keluar dari sensor. Akibat perbedaan sudut arah aliran udara terjadi variasi amplitude ketiga sinyal sensor dalam bentuk tegangan keluaran yang akan dibaca dan diolah mikrokontroler untuk ditampilkan.

5. Ucapan Terimakasih

Penelitian ini telah terlaksana atas pembiayaan penelitian dana Hibah Bersaing tahun 2011-2012 dari Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (DP2M) Ditjen Dikti Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.

Daftar Pustaka

1. ATMEL Corporation. 2006. Datasheet
2. Campbell Scientific - Wind Direction , 1998. Datasheet
3. Feustel, O.; Schmidt, W.: 1982. Sensorhalbleiter und Schutzelemente, Auswahlkriterien und Berechnungshinweise for Thermistoren und edelgasgefillte Uberspannungsableiter. Vogel Verlag.
4. Park Sekwang, Seunghyun Kim, Sunghyun Kim, Yongduk Kim, 2003. A thermal flow direction sensor was fabricated using MEMS technology, Sensors and Actuators B 91, 347–352
5. Raouf Ismail, 1999, Air velocity measurement using thermistor, Cambridge AssuSense, Inc., Shirley, MA USA.
6. Vaisala WMT700 WINDCAP® Ultrasonic Wind Sensors. 2010. Datasheet
7. Wilmers Meßtechnik Germany, 2003. Datasheet