

PENERAPAN FILM TIPIS $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$ (BST) YANG DIDADAH FERIUUM OKSIDA SEBAGAI SENSOR SUHU BERBANTUKAN MIKROKONTROLER

A. Ardian¹, L. Nady¹, R. Erviansyah¹, H. Syafutra¹, Irzaman¹, Siswadi²

¹Departemen Fisika FMIPA, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Matematika FMIPA, Institut Pertanian Bogor

ardi_arif@yahoo.com, nady_1166@yahoo.com

Abstract

Ferroelectric material originating from Barium Strontium Titanate (BST), is expected to have high energy because it has a dielectric constant and high charge storage capacity [6]. Materials produced by the process of ferium dopan, it is hoped will be a temperature sensor. If, materials BST and BFST (Barium Ferium Strontium Titanate) subjected to the temperature (material change that temperature), and the resulting voltage, then this material can be applied as a temperature sensor using a microcontroller. Microcontroller that used is ATmega 8535 with internal ADC. Voltage was generated, will be reinforced with a voltage amplifier (OpAmp) and will be processed into digital data at the ATmega8535 internal ADC (Analog Digital Converter). Incoming digital data will be processed and displayed in the view Microcontroller-based desktop applications Delphi 7. The material to be tested is material BST, BFST 5%, and BFST 15%.

Keyword: BST, Temperature sensor, ATMEGA 8535, ADC, Delphi 7

Abstrak

Material ferroelektrik yang berasal dari Barium Stronsium Titanat (BST), diharapkan akan memiliki energi yang tinggi karena memiliki konstanta dielektrik dan kapasitas penyimpanan muatan yang tinggi[6]. Material yang dihasilkan dari proses pendadahan BST terhadap ferium ini, diharapkan akan menjadi sensor suhu. Jika, material BST dan BFST (Barium Ferium Stronsium Titanat) dikenai suhu (dalam kata lain, material mengalami perubahan suhu), dan material tersebut menghasikan beda potensial, maka material ini dapat di aplikasikan sebagai sensor suhu berbasis mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan ialah ATmega 8535 yang sudah terdapat ADC internal. Beda potensial yang dihasilkan akan dikuatkan dengan penguat tegangan (OpAmp) dan akan diolah menjadi data digital pada ADC (Analog Digital Converter) internal ATmega8535. Data digital yang masuk akan diolah Mikrokontroler dan ditampilkan dalam tampilan aplikasi desktop berbasis Delphi 7. Material yang diujikan ialah material BST, BFST 5%, dan BFST 15%.

Kata Kunci : BST, Sensor suhu, ATmega 8535, ADC, Delphi 7

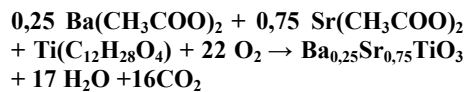
PENDAHULUAN

Material yang digunakan dalam pembuatan lapisan tipis ini adalah $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BST). Barium Stronsium Titanat (BST) merupakan bahan yang memiliki konstanta dielektrik yang tinggi, serta kapasitas penyimpanan muatan yang tinggi. Pembuatan BST dapat menggunakan peralatan yang cukup sederhana, biaya murah dan dilakukan dalam waktu yang relative singkat. Bahan Barium Stronsium Titanat (BST) memiliki potensi untuk

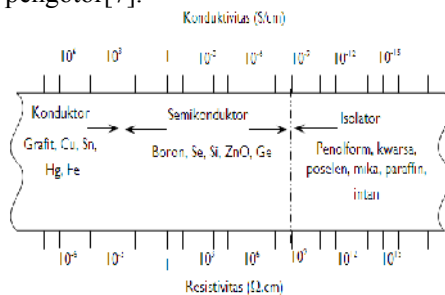
menggantikan film tipis SiO_2 pada sirkuit *metal oxide semikonduktor* (MOS). Namun konstanta dielektrik yang dimiliki oleh BST tersebut masih rendah dibandingkan dengan bentuk *bulknya*. Hal ini berkaitan dengan mikro butir yang baik, tingkat tekanan yang baik, kekosongan oksigen, formasi lapisan *interfacial* dan oksidasi pada Silikon[10].

Temperatur Curie barium titanat murni sebesar 130 °C. Dengan

penambahan stronsium, temperature barium titanat menurun menjadi temperature kamar [9]. Pembuatan film tipis BST dapat dibuat dengan berbagai teknik diantaranya *Chemical Solution Deposition*, *Sputtering*, laser ablasi, MOCVD dan proses sol gel [3]. Persamaan reaksi untuk BST ialah :



Material alami maupun buatan yang terdapat di alam dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor. Nilai dari konduktivitas listrik ketiga material tersebut berbeda seperti pada Gambar 1.1 yang menunjukkan spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas. Material semikonduktor sendiri mempunyai nilai konduktivitas pada selang antara (10⁻⁸-10³) S/cm. Konduktivitas semikonduktor pada umumnya sensitif terhadap temperatur, medan magnet, cahaya, serta atom pengotor [7].



Gambar 1.1. Spektrum konduktivitas listrik dan resistivitas

Resistansi suatu material bergantung pada panjang, luas penampang lintang, tipe material dan temperatur. Pada material ohmik resistansinya tidak bergantung pada arus dan hubungan empiris ini disebut dengan hukum Ohm yang dinyatakan dengan persamaan (1.1):

$$V = IR ; R = \text{konstan} \quad (1.1)$$

Adapun nilai konduktivitas suatu material bergantung dari sifat material tersebut.. Konduktivitas listrik adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Persamaan (1.2) dan (1.3) berikut merupakan hubungan konduktivitas listrik dan resistansi :

$$R = \frac{L}{\sigma A} \quad (1.2)$$

$$\sigma = \frac{L}{RA} \quad (1.3)$$

Mikrokontroler adalah sebuah piranti elektronika digital yang terintegrasi dalam sebuah chip, mikrokontroler tersusun dari mikroprosesor dan piranti pendukungnya. Mikrokontroler merupakan otak dari sebuah sistem elektronika digital, yang dimana sistem kerjanya diatur berdasarkan program dalam bahasa pemrograman yang digunakan, ada beberapa bahasa pemrograman yang dapat digunakan, pada umumnya semua bahasa pemrograman dapat diaplikasikan ke mikrokontroler, akan tetapi membutuhkan kompiler yang mendukung mikrokontroler tersebut. Bahasa pemrograman yang biasa digunakan dalam memrogram mikrokontroler produksi Atmel adalah bahasa Assembler, bahasa C, C++, basic, ataupun turbo pascal.

ATMega8535 merupakan salah satu mikrokontroler 8 bit buatan Atmel untuk keluarga AVR yang diproduksi secara massal pada tahun 2006. Karena merupakan keluarga AVR, maka ATMega8535 juga menggunakan arsitektur RISC. (*Reduced Instruction Set Computing*) 8 bit. Berbeda dengan mikrokontroler keluarga 8051 yang mempunyai arsitektur CISC (*Complex Instruction Set Computing*), AVR menjalankan sebuah instruksi tunggal dalam satu siklus dan memiliki struktur I/O yang cukup lengkap sehingga penggunaan komponen eksternal dapat dikurangi. Mikrokontroler AVR

didesain menggunakan arsitektur *Harvard*, di mana ruang dan jalur bus bagi memori program dipisahkan dengan memori data. Memori program diakses dengan *single-level pipelining*, di mana ketika sebuah instruksi dijalankan, instruksi lain berikutnya akan di-*prefetch* dari memori program.

Secara singkat, ATMega8535 memiliki beberapa kemampuan[2]:

1. Sistem mikrokontroler 8 bit berbasis RISC dengan kecepatan maksimal 16 MHz.
2. Memiliki memori flash 8 KB, SRAM sebesar 512 byte dan EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 512 byte.
3. Memiliki ADC (Pengubah analog-ke-digital) internal dengan ketelitian 10 bit sebanyak 8 saluran.
4. Memiliki PWM (*Pulse Wide Modulation*) internal sebanyak 4 saluran.
5. Portal komunikasi serial (USART) dengan kecepatan maksimal 2,5 Mbps.
6. Enam pilihan mode sleep, untuk menghemat penggunaan daya listrik.

METODE PENELITIAN

Pembuatan Film Tipis

Pembuatan Larutan BST dan BFST

Film tipis $Ba_{0,25}Sr_{0,75}TiO_3$ yang ditumbuhkan di atas substrat dengan metode CSD dibuat dengan cara mencampurkan Barium Asetat [$Ba(CH_3COO)_2$, 99%] + Stronsium Asetat [$Sr(CH_3COO)_2$, 99%]+ Titanium Isopropoksida [$Ti(C_{12}O_4H_{28})$, 97.99%] + bahan pendadah sebagai *precursor* dan etilane glykol serta asam asetat sebagai bahan pelarut. Dalam penelitian ini digunakan fraksi molar untuk Ba sebesar 0,25 sedangkan fraksi molar untuk Sr sebesar 0,75. Untuk pembuatan larutan BFST, metode CSD yang digunakan sama seperti pada pembuatan larutan BST. Hanya saja pada BFST

ditambahkan Ferium Oksida (Fe_2O_3) sebanyak 5%, 10% dan 15% dari BST yang terbentuk. Untuk mendapatkan komposisi yang sesuai dengan yang diharapkan, bahan-bahan tersebut sebelumnya diperhalus dengan spatula dan ditimbang dengan menggunakan neraca analitik sebelum dilakukan pencampuran. Setelah bahan-bahan dicampur, larutan dikocok selama satu jam dengan menggunakan Ultrasonik yaitu *Bransonic 2510*. Setelah itu larutan siap dideposisi dengan teknik CSD.

Proses Annealing

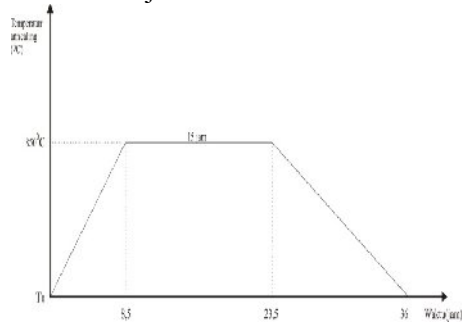
Proses *annealing* pada suhu yang berbeda akan menghasilkan karakterisasi *film* tipis yang berbeda dalam hal struktur kristal, ketebalan dan ukuran butir.

Substrat (100) tipe-*p* yang telah ditumbuhi lapisan tipis BST dan BFST dilakukan proses *annealing* pada suhu $850^{\circ}C$ dengan variasi *doping* pendadah 5%, 10% dan 15% untuk substrat Si (100) tipe-*p* dengan lapisan tipis BST dan BFST. Masing-masing dilakukan selama 15 jam. Proses *annealing* dilakukan secara bertahap, dimulai dari suhu ruang kemudian dinaikkan hingga suhu *annealing* yang diinginkan dengan kenaikan suhu pemanasan $1,67^{\circ}C/menit$. Setelah kenaikan suhu selama 8,5 jam kemudian pemanas disesuaikan dengan suhu *annealing* secara konstan selama 15 jam. Selanjutnya dilakukan *furnace cooling* secara manual hingga kembali ke suhu ruang. Proses *annealing* dapat ditunjukkan seperti terlihat pada Gambar 2.1.

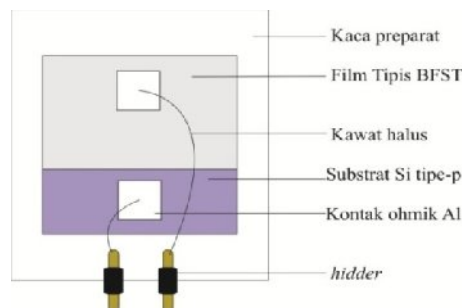
Pembuatan Kontak Pada Film Tipis

Setelah dilakukan proses *annealing*, proses selanjutnya adalah persiapan pembuatan kontak yang meliputi proses penganyaman *film* tipis dengan ukuran 0.5 cm x 0.5 cm menggunakan *aluminium foil*. Bahan kontak yang dipilih adalah Aluminium 99,999%. Setelah kontak terbentuk maka proses selanjutnya adalah pemasangan *hidder*

dan pemasangan kontak kawat dengan menggunakan pasta perak. Gambar dari film tipis yang telah diberi kontak dan *hidder* ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



Gambar2.1. Proses *Annealing*



Gambar 2.2 Prototipe sel fotovoltaik tampak atas

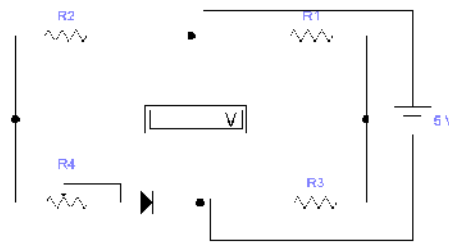
Karakterisasi Karakterisasi Piroelektrik

Karakterisasi piroelektrik bertujuan untuk mengetahui hubungan arus yang dihasilkan dari suatu film tipis dengan suhu yang divariasikan melalui suatu rangkaian jembatan *wheatstone* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.3. Sensor yang digunakan merupakan sensor suhu yang diuji dari sumber kalor berupa mesin *furnace* dengan kenaikan suhu ruang sampai suhu maksimal dari sensor.

Perhitungan koefisien piroelektriknya diturunkan dari persamaan rapat arus sampel dengan luas penampang A diberikan oleh persamaan (2.1):

Keluaran dari rangkaian jembatan *wheatstone* berupa tegangan yang nantinya akan dikonversi menjadi nilai arus melalui perhitungan dari hubungan

arus dan tegangan, kemudian dibuat kurva arus terhadap kenaikan suhu per satuan waktu dalam suatu analisis regresi linier dimana koefisien arah regresi merupakan nilai dari koefisien piroelektrik.



Gambar 2.3. Rangkaian Jembatan *wheatstone*

$$J = \frac{dI}{A} = \frac{dq}{dt} \frac{1}{A} \tag{2.1}$$

Dimana J adalah rapat arus film tipis.

Persamaan (2.1) dikalikan dengan momen dipol (p) sehingga didapat persamaan (2.2) :

$$\frac{dq}{dt} \times \frac{l}{A} = \frac{dq \times l}{dt} \times \frac{1}{V} = \frac{dP}{dt} \tag{2.2}$$

Dimana P adalah polarisasi dan l adalah ketebalan sampel. Kemudian kita analisa sehingga mendapatkan persamaan (2.3) dan (2.4)

$$\frac{dP}{dt} = \frac{dP}{dT} \times \frac{dT}{dt} \tag{2.3}$$

$$\frac{dI}{A} = \frac{dP}{dT} \times \frac{dT}{dt} \tag{2.4}$$

Resistivitas dan Konduktivitas Listrik

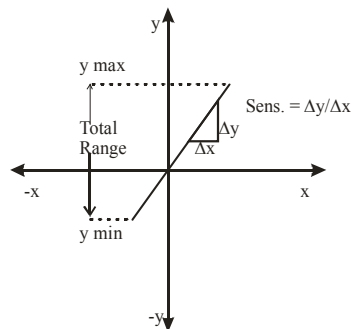
Konduktivitas film tipis diukur dengan berbagai variasi suhu yaitu pada suhu 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 55°C.

Data konduktivitas ini digunakan untuk menghitung nilai konduktivitas listrik film tipis dengan menggunakan persamaan (1.3). Data konduktivitas listrik film tipis yang didapat akan dibandingkan dengan data literatur

apakah film tipis yang terbentuk termasuk bahan konduktor, semikonduktor atau bahan isolator.

Sensitivitas

Sensitivitas dari sebuah sensor dapat didefinisikan sebagai kemiringan kurva karakteristik keluaran ($\Delta y/\Delta x$) lihat gambar 2.4. Secara umum, sensitivitas merupakan masukan minimum dari parameter fisik yang dapat membuat perubahan pada nilai keluaran. Untuk mencari sensitivitas dari sensor suhu BSFT ini, maka sensor diberikan rangsangan berupa suhu, dengan adanya rangsangan, sensor akan merespon dan mengeluarkan output berupa tegangan tertentu. Besarnya nilai tegangan yang dihasilkan berbanding dengan nilai masukan inilah yang disebut sensitivitas.



Gambar. 2.4 Kurva Sensitivitas

Rentang Nilai (*Range*)

Rentang nilai (*Range*) dari suatu sensor merupakan nilai maksimum dan minimum yang dapat diberikan suatu sensor dari parameter yang dapat diukur. Rentang nilai yang dapat diukur oleh sensor berbeda-beda, sensor dapat dikatakan memiliki rentang nilai minimum ataupun maksimum jika sensor tersebut tidak terjadi perubahan nilai keluaran (dalam hal ini berupa tegangan) bilamana diberikan rangsangan suhu.

Resolusi

Pengertian resolusi pada sensor merupakan perubahan nilai terkecil sebagai nilai masukan yang dapat dibaca atau diproses oleh sensor. Cara menentukan nilai resolusi dari sensor dapat diamati dari perubahan nilai keluaran, jika sensor diberikan nilai masukan terkecil.

Tingkat Akurasi (*Accuracy*)

Tingkat akurasi suatu sensor merupakan perbedaan nilai keluaran maksimum yang dihasilkan terhadap nilai yang sebenarnya. Sensor BSFT akan diuji tingkat akurasinya dengan cara membandingkan dengan alat ukur lain, seperti termometer. Tingkat keakuratan suatu sensor dikatakan bagus, jika sensor tersebut menghasilkan nilai parameter keluaran yang mendekati dengan nilai yang sebenarnya.

Histerisis

Histerisis merupakan pola jalur yang berbeda dari output sensor ketika diberikan inputan monoton naik dan dikembalikan monoton turun ke posisi semula.

HASIL DAN PEMBAHASAN

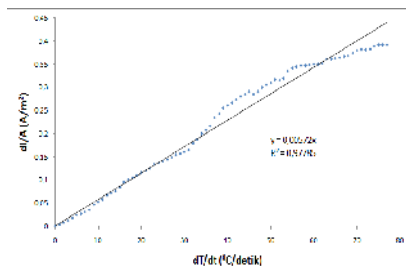
Karakterisasi Piroelektrik

Pada umumnya bahan semikonduktor bersifat sebagai isolator pada suhu rendah, dan pada suhu ruangan akan bersifat konduktor. Pada suhu ruangan banyak elektron valensi yang terlepas dari ikatan kovalen karena adanya getaran atom. Dikatakan elektron valensi ini menjadi elektron bebas oleh eksitasi termal. Semakin tinggi suhu maka semakin banyak elektron bebas yang dibangkitkan dan semakin besar pula arus yang mengalir, yang berarti semakin rendah hambatannya [8].

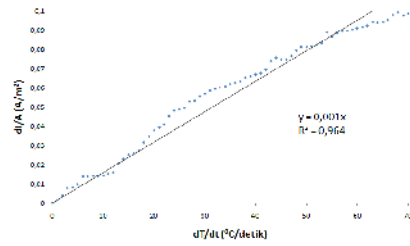
Pada pengujian karakterisasi ini dianalisis hubungan dari konsentrasi bahan pendadah BST terhadap nilai koefisien piroelektrik jika dikenai suhu. Karakterisasi piroelektrik dilakukan untuk menghasilkan keluaran berupa tegangan yang nantinya dikonversi menjadi arus melalui perhitungan arus dengan tegangan sebagai hasil interaksi muatan seiring dengan diberikannya rangsangan berupa suhu. Berdasarkan pengujian karakteristik I-V, maka film tipis dirangkai seri terhadap potensio pada rangkaian jembatan *wheatstone* (lihat gambar 2.3).

Hasil keluaran arus tersebut nantinya diplotkan menjadi bentuk rapat arus yang dibandingkan dengan kenaikan suhu persatuan waktu pada grafik linier. Koefisien piroelektrik diperoleh dari rapat arus dengan perubahan suhu per satuan waktu. Kemiringan kurva yang merupakan koefisien piroelektrik yang dinyatakan dalam persamaan $y = ax$ dimana nilai a merupakan perubahan rapat arus untuk tiap perubahan suhu atau merupakan koefisien piroelektrik dari film tipis tersebut.

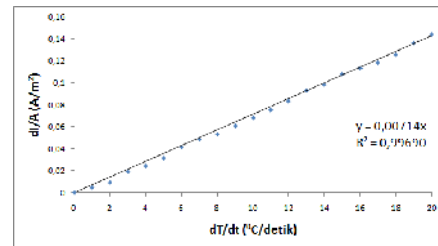
Pada Gambar 3.1 hingga Gambar 3.3 menunjukkan karakteristik piroelektrik terhadap kenaikan suhu persatuan waktu film tipis BST dan BFST. Kenaikan suhu persatuan waktu (dT/dt) sebesar $1^{\circ}C/s$. Secara keseluruhan, terlihat bahwa nilai arus yang meningkat terhadap kenaikan suhu. Semakin tinggi suhu yang diberikan maka semakin tinggi arus yang dihasilkan [5].



Gambar 3.1. Kurva Piroelektrik BST



Gambar 3.2. Kurva piroelektrik BFST 5%



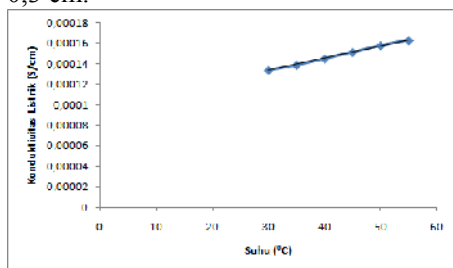
Gambar 3.3. Kurva piroelektrik BFST15

Karakteristik Konduktivitas Listrik

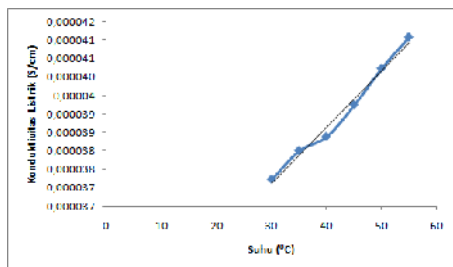
Proses pengujian konduktivitas ini dilakukan dengan memasukan film tipis kedalam *furnace*, dengan menggunakan rangkaian jembatan *wheatstone*, maka akan didapat nilai hambatan film tipis pada saat dikenai suhu. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan dengan memberikan film tipis rangsangan berupa suhu pada temperatur tertentu sehingga mendapatkan data tegangan keluaran dari jembatan *wheatstone* terhadap perubahan suhu. Untuk mengatur suhu yang diberikan, *Furnace* diset dari $30^{\circ}C$ hingga batas maksimum suhu yang bisa diterima sensor dengan kenaikan suhu $1^{\circ}C/$ menit, lalu dicatat nilai tegangan yang dihasilkan dari jembatan *wheatstone*.

Berdasarkan hasil keluaran tegangan dari jembatan *wheatstone*, didapat nilai tegangan untuk setiap film tipis akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Apabila tegangan sudah diketahui, maka hambatan untuk setiap suhu yang diterima oleh sensor dapat dicari. Melalui perhitungan kesetimbangan nilai hambatan jembatan *wheatstone*, maka akan didapat nilai hambatan film tipis yang semakin menurun jika dikenai

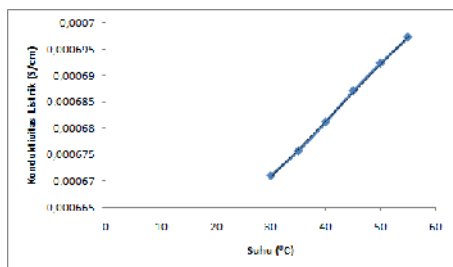
suhu yang lebih besar (lihat gambar 3.4 - 3.6). Dari nilai hambatan tersebut dapat dicari nilai konduktivitas listrik untuk setiap perubahan suhu. Selain nilai hambatan, untuk mencari nilai konduktivitas diperlukan nilai luasan kontak dan jarak antar kontak film tipis, nilai luasan kontak film tipis sebesar $0,03 \text{ cm}^2$ dan jarak antar kontak sebesar $0,3 \text{ cm}$.



Gambar 3.4. Konduktivitas Listrik BST



Gambar 3.5. Konduktivitas BFST 5%



Gambar 3.6. Konduktivitas BFST 15%

Secara keseluruhan, nilai konduktivitas ketiga film tipis menunjukkan orde 10^{-4} S/cm hingga 10^{-5} S/cm , hal tersebut menunjukkan film tipis yang dibuat berupa material semikonduktor, sebab berdasarkan literatur, nilai konduktivitas untuk semikonduktor ialah berkisar orde 10^{-8} hingga 10^3 S/cm . Dari data yang didapat, nilai konduktivitas listrik

meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Peningkatan konduktivitas ini dikarenakan tereksitasinya elektron pada pita valensi ke pita konduksi [4]. Elektron pada pita konduksi dapat bebas bergerak dibawah pengaruh medan listrik sehingga semakin banyak elektron tereksitasi ke pita konduksi akibat diberikan suhu, maka arus akan meningkat, dengan demikian konduktivitas listriknya juga meningkat dan sebaliknya nilai resistansinya akan menurun. Data nilai konduktivitas untuk masing-masing film tipis terhadap suhu dapat dilihat pada lampiran.

Rentang Nilai, Sensitivitas, Histerisis, Resolusi, Tingkat Akurasi.

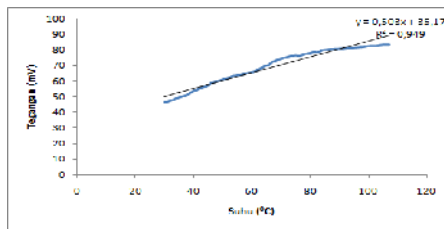
Proses pengujian film tipis dengan memberikan suhu pada sensor akan mendapatkan karakteristik khusus dari film tipis tersebut, karakteristik yang dapat diamati diantaranya, sensitivitas, rentang nilai, resolusi, tingkat akurasi, dan histerisis. Proses pengujian dimulai dengan memberikan suhu dengan cara memasukan film tipis kedalam *furnace*, lalu *furnace* diatur agar memberikan suhu kenaikan sebesar $1^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dengan suhu awal 30°C hingga film tipis tidak lagi menunjukkan data keluaran yang cukup berarti, dalam hal ini perubahan nilai keluaran mendekati nol. Karena proses pengujian ini menggunakan rangkaian jembatan *wheatstone*, maka hasil keluaran yang berupa tegangan harus dikalibrasi terlebih dahulu, yaitu mengatur hasil keluaran menjadi nol pada suhu 0°C .

Pada pengujian kali ini dilakukan proses pemberian suhu (monoton naik) dan proses pendinginan (monoton turun). Proses pengujian dilakukan untuk mendapatkan data hubungan suhu terhadap tegangan, setelah itu diplotkan kedalam grafik hubungan suhu terhadap nilai tegangan. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapat hasil bahwa dengan penambahan doping ferium akan menurunkan rentang nilai dari film tipis

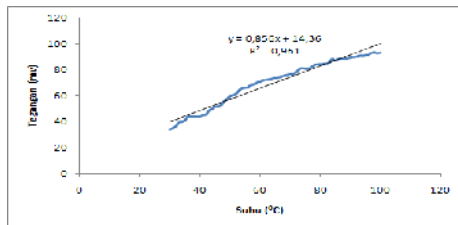
tersebut. Nilai rentang film tipis bst dari $30^{\circ}C$ hingga $106^{\circ}C$, rentang nilai BFST 5% dari $30^{\circ}C$ hingga $100^{\circ}C$, sedangkan rentang nilai BFST 15% $30^{\circ}C$ hingga $55^{\circ}C$.

Sensitivitas merupakan masukan minimum dari parameter fisik yang dapat membuat perubahan pada nilai keluaran. Melalui pengujian ini didapat sensitivitas linier dari masing masing film tipis BST sebesar $\pm 0,503mV/^{\circ}C$, BFST 5% sebesar $\pm 0,856mV/^{\circ}C$, sedangkan untuk BFST 15% sebesar $\pm 0,296mV/^{\circ}C$.

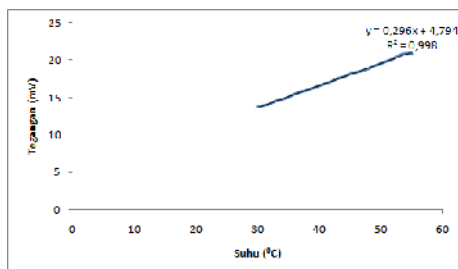
Berdasarkan hasil pengujian monoton naik dan monoton turun, didapatkan histerisis dari film BST lebih besar daripada BFST 5% DAN 15%, untuk lebih jelas lihat gambar 3.10 – gambar 3.12



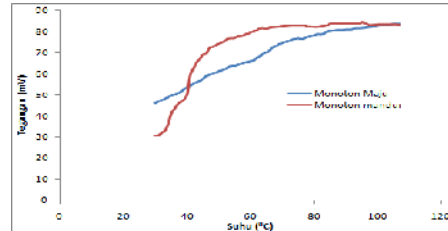
Gambar 3.7. Sensitivitas BST



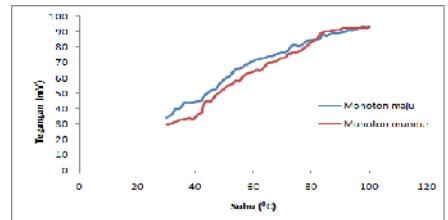
Gambar 3.8. Sensitivitas BFST 5%



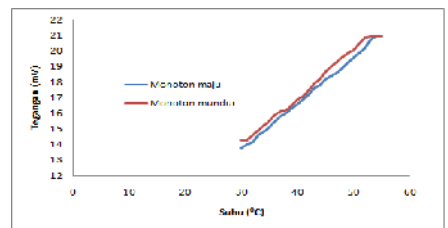
Gambar 3.9. Sensitivitas BFST 15%



Gambar 3.10. Kurva Histerisis BST



Gambar 3.11. Kurva Histerisis BFST 5 %



Gambar. 3.12. Kurva Histerisis BFST5%

Secara keseluruhan, film tipis yang cukup baik untuk digunakan sebagai sensor suhu ialah $Ba_{0,5}Sr_{0,75}TiO_3$ (BST) yang didadah ferium sebesar 5%, hal tersebut terlihat dari rentang nilai yang besar, sensitivitas yang cukup baik, histerisis yang kecil, resolusi sensor sebesar 0,1mv, serta tingkat akurasi sebesar 96,1 %. Berdasarkan hasil karakterisasi, film tipis inilah yang akan dijadikan sensor suhu dan diintegrasikan ke mikrokontroler.

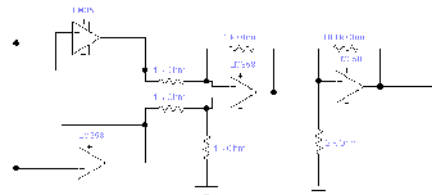
Pengintegrasian Mikrokontroler.

Mikrokontroler yang digunakan ialah ATMega 8535 yang sudah terdapat ADC (*Analog to Digital Converter*) internal, ADC yang digunakan sebesar 10 bit dan masukan tegangan sebesar 5 Volt, sehingga memiliki resolusi sebesar 4,88 milivolt. Dikarenakan resolusi sensor terlalu kecil, yaitu mencapai 0,1 mV, maka keluaran tegangan dari sensor

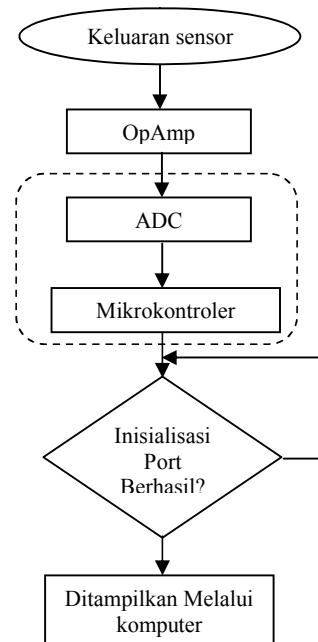
harus diperkuat dengan menggunakan OPAMP. Secara keseluruhan pengintegrasian dengan mikrokontroler dapat dilihat dari Gambar 3.14. diagram alir pengintegrasian mikrokontroler. Pengujian dengan bantuan mikrokontroler dilakukan untuk membandingkan hasil yang diberikan melalui proses pengintegrasian dengan hasil eksperimen.

Hasil dari pengujian film tipis digunakan sebagai data awal dalam pengintegrasian mikrokontroler, sehingga data yang sebelumnya menjadi variabel tetap ialah suhu, maka data untuk pengintegrasian mikrokontroler perlu diubah, sehingga variabel tetapnya ialah tegangan. Lihat gambar 3.15.

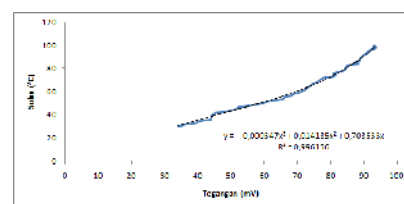
Pada gambar 3.15, memperlihatkan hubungan fungsi tegangan terhadap suhu dari sensor, dikarenakan resolusi sensor dengan resolusi mikrokontroler perlu disamakan, maka data tegangan keluaran sensor dari hasil eksperimen perlu ditingkatkan sebesar 50 kali. Sebelum data tegangan dimasukkan kedalam port a0 pada mikrokontroler, hasil tegangan dari jembatan *wheatstone* harus melalui 2 komponen utama yaitu rangkaian penguat diferensial dan penguat noninverting lihat gambar 3.13. Setelah disamakan resolusi antar sensor dengan mikrokontroler dengan cara menguatkan tegangan keluarannya, maka didapat sebuah persamaan yang menggambarkan fungsi keluaran dari sensor, lihat gambar 3.16. Persamaan tersebut digunakan untuk mendapatkan hasil yang mendekati dengan hasil pengujian sebelumnya, melalui persamaan ini mikrokontroler dapat membaca nilai masukan dari tegangan yang diberikan dengan tingkat akurasi sebesar 99,5%. Setelah mendapatkan persamaan yang mendekati hasil eksperimen, persamaan tersebut dimasukkan kedalam program *compiler* dari mikrokontroler, *compiler* yang digunakan ialah *Basic Compiler AVR*.



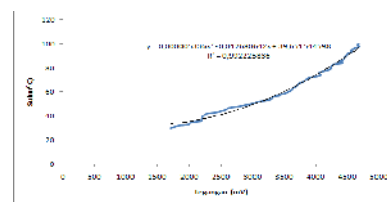
Gambar 3.13. Rangkaian penguat diferensial



Gambar 3.14. diagram alir pengintegrasian mikrokontroler

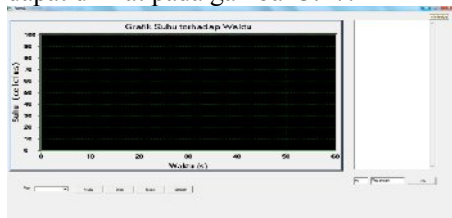


Gambar 3.15. Grafik fungsi tegangan vs suhu penguat noninverting.



Gambar 3.16. Grafik fungsi tegangan vs suhu yang telah mengalami pening-katan tegangan sebesar 50 kali.

Persamaan polinom orde tiga diatas dimasukan kedalam program mikrokontroler agar keluarannya dapat langsung berupa suhu dalam satuan derajat celsius. Setelah mendapatkan nilai keluaran yang dihasilkan oleh mikrokontroler, selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik fungsi tegangan terhadap suhu dan data suhu terhadap waktu yang telah dibuat dengan menggunakan *Delphi7*. tampilan sistem dapat dilihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17. Tampilan aplikasi desktop

Tabel3.1. hasil pengujian sensor.

Suhu	Mirokontroler	Termometer
30 ⁰ C	33,52 ⁰ C	30 ⁰ C
35 ⁰ C	36,34 ⁰ C	35 ⁰ C
40 ⁰ C	38,38 ⁰ C	40 ⁰ C
45 ⁰ C	42,65 ⁰ C	45 ⁰ C
50 ⁰ C	48,86 ⁰ C	50 ⁰ C
55 ⁰ C	55,67 ⁰ C	55 ⁰ C
60 ⁰ C	63,13 ⁰ C	60 ⁰ C

Pengujian sensor dilakukan di dalam *furnace* yang memiliki sensor suhu seperti termometer digital, pegujian sensor dilakukan di dalam *furnace* karena untuk mendekati dengan keadaan ideal. Pada pengujian kali ini sensor diberikan perlakuan kenaikan suhu sebesar 5⁰C dari 30⁰C hingga 60⁰C. Berdasarkan hasil pengujian, didapat hasil yang cukup bagus, dimana sensor dapat membaca perubahan suhu yang terjadi, hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.1. Faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil dari keluaran mikrokontroler dengan termometer pada *furnace* ialah pengaruh rentang nilai toleransi hambatan yang dipakai pada rangkaian,

persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai keluaran yang dihasilkan pada data eksperimen, serta faktor lingkungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian diatas didapat beberapa kesimpulan, yaitu film tipis BST, BFST 5%, dan BFST 15% bersifat dioda semikonduktor yang memiliki sensitivitas yang cukup tinggi terhadap suhu. Nilai konduktivitas listrik akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Koefisien piroelektrik dipengaruhi oleh konsentrasi pendadah ferium yang diberikan, semakin banyak konsentrasi pendadah yang diberikan akan menaikkan koefisien piroelektriknya, akan tetapi seiring dengan banyaknya konsentrasi pendadah, maka akan menurunkan rentang nilai untuk pengukuran suhu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian didanai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional sesuai surat perjanjian Pelaksanaan Hibah Kompetitif Penelitian Unggulan Strategi Nasional:431/SP2H/PP/DP2M/V1/2009, tanggal 25 Juni 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arifin, I. 2004. *Elektronika 1*. (9-12).
- [2]. Atmel. 2003. Data sheet ATMega 8535 2502E-AVR-12/03
- [3]. Darmasetiawan H. 2005. *Optimal Penumbuhan Film Tipis BaTiO₃ yang didadah Indium dan Vanadium (BIVT) serta penerapannya sebagai Sel Surya*. Institut Pertanian Bogor.
- [4]. Ho, J.J, Y.K. Fang, W.J. Lee, J. Lee, F.Y.Chen, W.T. Hsieh, S.F.Ting, M.S.Ju, S.B. Huang, K.H. Wu and C.Y. Chen. 1999. *IEEE Trans Electron Devices*. **46** (12), 2289.

- [5]. Ramly, H. 2002. Sifat Dielektrik Bahan. <http://institut.fs.utm.mv/~ramli>
- [6]. Seo, J.Y, S.W, Park. 2004. Chemical Mechanical Planarization Characteristic of Ferroelectric Film for FRAM Applications. *Journal of Korean Physics society*. **45** (3). 769-772.
- [7]. Sze S.M. 1985. *Semiconductor devices, physics and technology*. John Wiley & Son. Singapore.
- [8]. Sutrisno. 1986. *Elektronika Teori dan Penerapannya*. ITB, Bandung
- [9]. Utami A.G.W. 2007. *Studi Efek Fotovoltaik Film Tipis $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ yang dididat Tantalum (BSTT) diatas Subtrat Si(100) tipe-p*. Skripsi. Departemen Fisika Fakultas MIPA.IPB; Bogor
- [10]. Xu Y.1991. *Ferroelectric Material and Their Applications*. North-Holland. Netherland.

