

KARAKTERISTIK TEGANGAN OUTPUT MENGGUNAKAN SENSOR ARUS EDDY SEBAGAI PENDETEKSI KEMURNIAN BAJA

Fiana Rianti*

Abstrak :Baja merupakan material yang terbuat dari besi (Fe) dan karbon (C), serta memiliki unsur-unsur paduan yang dispesifikasikan maupun tidak dispesifikasikan, seperti Mn, Si, Cu, Cr, Ni, S dan P. Baja mempunyai banyak kegunaan dalam kehidupan sehari-hari,hampir sebagian besar peralatan rumah tangga dan industri terbuat dari baja. Selain ekonomis baja juga lebih kuat. Dalam pembuatan baja, Besi (Fe) adalah unsur yang dominanBesi adalah unsur ferromagnetik yang berhubungan dengan medan magnet. Jika arus listrik mengalir akan timbul medan magnet karena gerakan orbital dan spin elektron atomik yang setara dengan lingkaran arus kecil, masing-masing atom akan menimbulkan medan magnet disekitarnya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membedakan jenis baja yang digunakan melalui metode induksi elektromagnetik.Rancangan penelitian yang digunakan adalah Induksi yang dibuat dalam sensor arus eddy yaitu sensor yang terdiri dari kumparan primer dan skunder. Masing-masing kumparan dihubungkan pada komponen elektronika pendukung. Sensor ini akan mendeteksi kadar besi dalam baja melalui induksi. baja dapat dibedakan dengan melihat perubahan tegangan yang dihasilkan oleh alat sebagai nilai kemurnian baja. Alat diuji dengan mendeteksi 5 sampel baja dengan kadar besi yang berbeda. Data yang diperoleh dari penelitian ini dianalisis dengan analisis variansi, dan untuk mengetahui nilai kebenarannya dilakukan uji XRF (XRays Fluorensens).

Kata Kunci: Sensor, Arus Eddy, Baja

PENDAHULUAN

Baja merupakan material yang terbuat dari besi (Fe) dan karbon (C), serta memiliki unsur-unsur paduan yang dispesifikasikan maupun tidak dispesifikasikan, seperti Mn, Si, Cu, Cr, Ni, S dan P. Dalam ilmu bahan tehnik, baja didefinisikan menjadi dua yaitu baja karbon dan baja paduan (*alloy*). Baja karbon adalah baja yang terbuat dari unsur besi (Fe), karbon (C), dan unsur paduan yang dispesifikasikan dengan maksimum Mn 1,65 %, Si dan Cu 0,6 % serta tidak memiliki unsur paduan lainnya. Sedangkan baja paduan adalah baja yang terbuat dari unsur-unsur baja karbon dan paduan yang tidak spesifikasikan. Dalam pembuatan baja, besi merupakan unsur dominan dibandingkan dengan unsur paduannya.

Baja ditinjau dari karakteristiknya merupakan material yang bersifat kuat, sedangkan berdasarkan fungsi kegunaannya, baja merupakan material yang sering kali dikonsumsi karena selain lebih ekonomis, baja juga dapat dibuat dengan mudah sesuai dengan kebutuhannya, seperti digunakan dalam bidang konstruksi atau pembangunan gedung dan bidang industri untuk pembuatan instrumen atau perkakas rumah tangga. Berdasarkan karakteristik dan fungsi kegunaan tersebut, maka dalam hal ini diperlukan instrumen yang dapat membedakan jenis maupun menentukan kualitas baja agar konsumen tidak mengalami kesalahan dalam memilih material yang akan digunakan sebagai bahan konstruksi atau bahan industri (perkakas rumah tangga). Dengan demikian, cara yang dapat dilakukan adalah melakukan pengujian pada baja dengan menggunakan instrumen yang dapat membedakan jenisnya. Besi hampir tidak pernah digunakan untuk aplikasi rekayasa dalam keadaan murni karena keterbatasan sifat-sifat mekaniknya, namun besi merupakan salah satu logam yang dapat terdeteksi dalam kandungan baja.

Oleh karena itu, untuk membedakan jenis baja dapat menggunakan metode induksi elektromagnetik yaitu suatu prinsip yang bekerja berdasarkan persamaan Maxwell, dan untuk 20 pendeteksiannya dapat dilakukan oleh sensor yang disebut dengan sensor arus eddy.Dalam pendeteksiian ini diharapkan dapat menentukan suatu besaran atau variabel untuk mengukur nilai kemurnian baja. Nilai kemurnian akan ditentukan dengan seberapa

(*) Jurusan Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

besar nilai Fe yang dapat diinduksi. Induksi yang dihasilkan akan ditampilkan oleh instrumen berupa keluaran tegangan. Nilai tegangan tersebut digunakan sebagai nilai kemurnian baja.

Perancangan dan pembuatan suatu instrumen juga dibutuhkan suatu pengujian untuk mengetahui nilai kepekaan yang dihasilkan oleh masing-masing komponen instrumen tersebut, oleh karena itu dalam pembuatan instrumen ini dilakukan beberapa pengujian, salah satunya adalah pengujian fungsi transfer sebagai suatu pengujian yang membandingkan antara masukan dan keluaran yang dihasilkan instrumen tersebut.

Pada penelitian sebelumnya sensor arus eddy dimanfaatkan sebagai alat pendeteksi ketebalan baja yang berfungsi untuk menentukan variasi ketebalan baja (Pebri. Skripsi. 2006) dan penelitian kuat medan magnet terhadap sifat kemagnetan baja (Ton Sejati Utomo. Skripsi. 2002). Untuk melakukan pengembangan pada kedua penelitian tersebut, maka penulis kali ini tertarik untuk menganalisis kembali keterkaitan instrumen dengan baja yang ada di pasaran sebagai instrumen pendeteksi nilai kemurnian baja.

KAJIAN TEORI

Baja

Baja merupakan jenis material yang berasal dari bijih-bijih yang kaya akan besi, berlimpah ruah di lapisan bumi dan mudah direduksi oleh karbon panas untuk dijadikan besi. Baja sangatlah serbaguna, bisa dibentuk sesuai yang diinginkan melalui proses seperti *rolling* dan *forging*, mempunyai banyak sifat mekanik yang memungkinkan untuk digunakan dalam segala aplikasi.

Sensor

Sensor adalah alat yang dapat menerima rangsangan dan merespon dengan suatu sinyal elektrik. Rangsangan adalah kuantitas, sifat, atau kondisi yang dirasakan dan dikonversi ke dalam sinyal elektrik. Tujuan dari suatu sensor adalah untuk merespon suatu masukan sifat fisis (rangsangan) dan mengkonversikannya ke dalam suatu sinyal elektrik melalui kontak elektronik. Sensor dapat dikatakan sebagai suatu translator dari nilai non elektrik menjadi nilai elektrik. Elektrik artinya sinyal yang dapat disalurkan, dikuatkan, dan dimodifikasi oleh alat elektronik. Sinyal keluaran sensor dapat berupa tegangan atau arus. Sinyal keluaran juga dapat digambarkan sebagai masukan amplitude, frekuensi, fase atau kode digital. (Fraden. 2003: 2)

Dalam pendeteksian suatu sensor tidak akan terlepas dari istilah transduser. Transduser adalah sebuah alat yang bila digerakkan oleh energy di dalam sebuah sistem transmisi menyalurkan energi dalam bentuk yang sama atau dalam bentuk yang berlainan ke sistem transmisi kedua. Transmisi energi ini bisa listrik, mekanik, kimia, optik (radiasi) atau termal (panas). Definisi transduser yang luas mencakup alat-alat yang mengubah gaya atau perpindahan mekanis menjadi sinyal elektrik. (Cooper. 1999: 384)

Induksi Medan Magnet

Medan magnet dapat menimbulkan adanya suatu muatan yang bergerak atau mengalir dalam suatu kawat konduktor. Dengan kata lain, adanya medan listrik menimbulkan medan magnet. Dalam teori elektromagnetik, induksi medan magnet terjadi akibat adanya medan magnet yang berubah terhadap waktu. Bentuk perubahan ini menimbulkan medan listrik. (Halliday dan Resnick. 1984: 341). Induksi elektromagnetik adalah timbulnya gaya gerak listrik di dalam suatu konduktor bila terdapat perubahan fluks magnetik pada konduktor atau bila konduktor bergerak relatif melintasi medan magnet.

Generator Fungsi

Generator fungsi (*function generator*) adalah sebuah instrument terandalakan yang memberikan suatu pilihan bentuk gelombang yang berbeda yang frekuensifrekuensinya dapat diatur sepanjang suatu rangkuman yang lebar. Bentuk-bentuk keluaran yang lazim adalah sinus, segitiga, persegi dan gigi gergaji. Frekuensi bentuk-bentuk gelombang ini bisa diatur dari bilangan pecahan dari satu hertz sampai beberapa ratus kilohertz. Kemampuan generator fungsi untuk mengunci fasa terhadap sebuah sumber sinyal luar adalah ciri bermanfaat lainnya. (Cooper. 1994: 331) Generator fungsi dapat mensuplai bentuk gelombang keluaran pada frekuensi-frekuensi yang sangat rendah.

Penyearah Gelombang Penuh

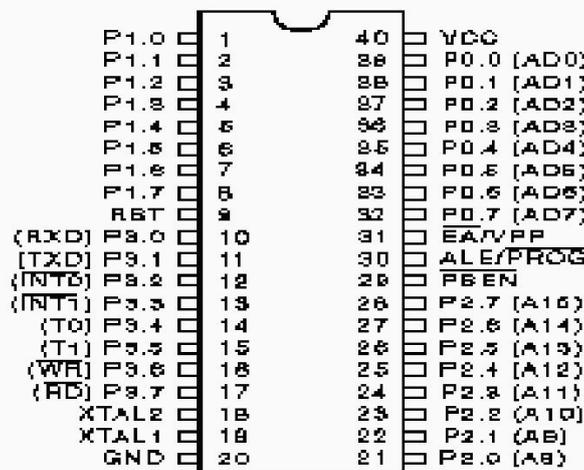
Rangkaian penyearah gelombang penuh merupakan perkembangan dari rangkaian penyearah setengah gelombang. Penyearah setengah gelombang menghasilkan keluaran setengah gelombang dari masukan bolak-balik. Pada penyearah gelombang penuh menghasilkan arus searah baik dari masukan positif maupun masukan negatif. (Daryanto. 2005: 73)

Analog Digital Counter (ADC)

Keluaran dari penguat sinyal berupa sinyal analog sehingga harus diubah terlebih dahulu menjadi sinyal digital agar selanjutnya dapat diproses oleh mikokontroler. ADC merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital atau diskrit. Umumnya digunakan chip ADC 8 bit untuk mengubah rentang sinyal analog 05V menjadi *level* digital 0255 untuk ADC 8 bit. Contoh dari chip ADC 8 bit adalah 0804. (Widodo, dkk. 2005: 120)

Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan suatu komponen elektronika yang didalamnya terdapat rangkaian mikroprosesor, memori (RAM/ROM) dan I/O, rangkaian tersebut terdapat dalam *level chip* atau biasa disebut *single chip microcomputer*. Pada mikrokontroler sudah terdapat komponen-komponen mikroprosesor dengan bus-bus internal yang saling berhubungan. Komponen-komponen tersebut adalah RAM, ROM, timer, komponen I/O paralel dan serial, dan *interrupt controller*. Adapun keunggulan dari mikrokontroler adalah adanya *system interrupt* sebagai perangkat kontrol penyesuaian, mikrokontroler sering disebut juga untuk menaikkan respon semangat eksternal (*interrupt*) di waktu yang nyata. Perangkat tersebut harus melakukan hubungan *switching* cepat, menunda satu proses ketika adanya respon eksekusi yang lain. (Fitrianto. 2006: 5)



Gambar 1. Konfigurasi Pin AT89S51

Liquid Crystal Display (LCD)

LCD merupakan sistem monitoring yang digunakan untuk menampilkan keluaran suatu perangkat. Adapun dua jenis utama LCD: matrik pasif dan matrik aktif. Matrik pasif adalah LCD yang mempunyai semua kolom dan baris yang dihubungkan diluar circuit. Jenis ini mempunyai kegunaan yang fleksibel dan ekonomis. Tetapi jenis ini tidak dapat digunakan untuk display besar karena tidak mempunyai kapasitas yang cukup, sedangkan matrik aktif adalah jenis LCD yang mempunyai operasi circuit di dalam substrate. Jenis ini mempunyai display yang dapat menyimpan perubahan kecil dalam pixel yang disimpan sampai adanya perubahan lagi. Namun pada dasarnya semua LCD disandarkan pada sumber cahaya dan dapat digunakan dengan cara yang berbeda-beda melalui: *transmissive*, *reflective*, dan *transflective*. (Pierre. 2005: 9)

Liquid crystal display adalah modul tampilan yang mempunyai konsumsi daya yang relatif rendah dan terdapat sebuah *controler* CMOS didalamnya. *Controler* tersebut sebagai pembangkit ROM/RAM dan display data RAM. Semua fungsi tampilan di kontrol oleh suatu instruksi modul LCD dapat dengan mudah diinterfackan dengan MPU. (Widodo. 2002: 153)

Keypad

Keypad adalah sarana yang digunakan sebagai media masukan dalam berbagai aplikasi elektronik. Rangkaian *keypad* berupa kaki baris dan kolom yang dapat dihubungkan dengan piranti luar. Bila salah satu tombol *keypad* ditekan maka keluaran yang dihasilkan berupa kombinasi baris dan kolom tersebut.

Driver Relay

Relay merupakan piranti elektromagnetis yang sering digunakan pada industry otomotif maupun elektronik. *Relay* berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran listrik yang dikontrol dengan memberikan tegangan dan arus tertentu pada koilnya. Cara kerja komponen ini dimulai pada saat mengalirnya arus listrik melalui koil, lalu membuat medan magnet sekitarnya merubah posisi saklar sehingga menghasilkan arus listrik yang lebih besar. (widodo,2005:169) *Driver relay* adalah rangkaian yang digunakan untuk menggerakkan *relay* yang dirancang menggunakan transistor.

METODE PENELITIAN

Bentuk penelitian ini adalah perancangan dan pembuatan alat untuk mendeteksi nilai kemurnian baja. Sampel yang digunakan adalah baja paduan (*alloy*).

Alat dan Bahan Penelitian

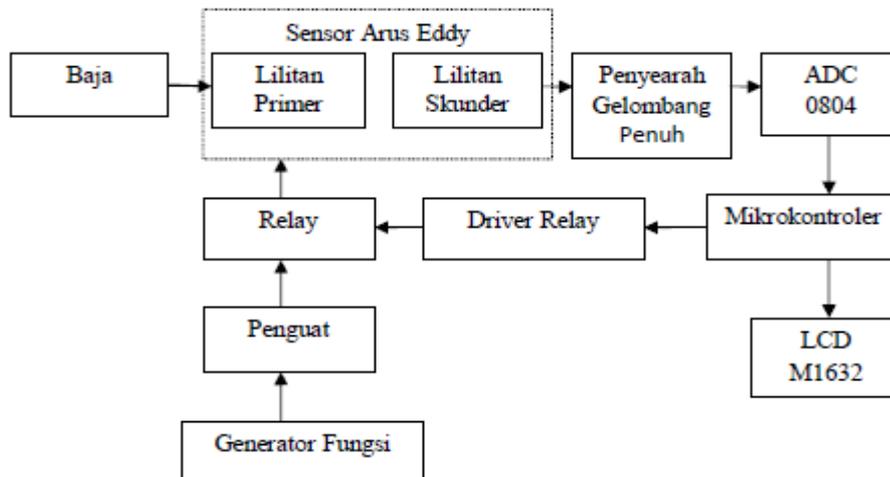
Agar penelitian dapat dilaksanakan dengan baik, maka dalam hal ini dibutuhkan beberapa alat dan bahan yang dapat mendukung jalannya percobaan. Adapun alat-alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Transformator
2. Diode
3. Resistor
4. Kapasitor
5. Kabel penghubung
6. Kumparan primer dan skunder
7. 3000 lilitan
8. ADC 0804
9. Multivibrator CD4047
10. Penguat mosfet IRFZ44N

- 11. Mikrokontroler AT89S51
- 12. LCD M1632
- 13. Keypad
- 14. Relay dan Driver Relay
- 15. Baja paduan (*alloy*) 10cm

Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan dan pembuatan perangkat keras meliputi perangkat yang ditunjukkan pada diagram blok sistem. Diagram blok sistem merupakan diagram alir utama sistem yang menggambarkan skema atau susunan dari perancangan dan pembuatan alat secara keseluruhan. Adapun diagram blok sistem adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Pada gambar ditunjukkan diagram sistem secara keseluruhan. Prinsip kerja alat dimulai dengan perancangan sensor arus eddy dengan menggunakan dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer berfungsi sebagai kumparan yang diberi tegangan bolak-balik (AC) yang akan merangsang arus pusar atau menginduksi arus eddy pada baja yang akan dideteksi, sedangkan kumparan sekunder berfungsi sebagai penerima sinyal atau pendeteksi adanya perubahan fluks magnet, sehingga baja harus diletakkan tepat di sentral kedua kumparan tersebut agar dapat terinduksi dengan mudah.

Pada sensor arus eddy kumparan primer dihubungkan ke generator fungsi yang bertujuan untuk mengatur arus dan tegangan yang berbeda. Generator fungsi diatur kurang dari 5 volt agar tidak mudah panas kemudian diberi penguat dan *relay* yang digerakkan oleh *driver relay*. *Relay* berfungsi untuk memutus tegangan untuk mengatur *time out* selama 60 detik. Karena masing-masing kumparan akan diberi lilitan sebanyak 600 lilitan untuk kumparan primer atau 2400 lilitan untuk kumparan sekunder yang terbuat dari tembaga, apabila tegangan terlalu besar dan penggunaan terlalu lama maka kumparan akan cepat panas sehingga diberi *relay* agar dapat mengatur *time out* instrumen.

Untuk kumparan sekunder dihubungkan pada rangkaian penyearah gelombang penuh dengan tujuan untuk mengubah arus keluaran bolak-balik (AC) menjadi keluaran searah (DC), karena tegangan keluaran sensor arus eddy masih berupa arus gelombang bolak balik sehingga perlu disearahkan terlebih dahulu sebelum dikonversi ke ADC.

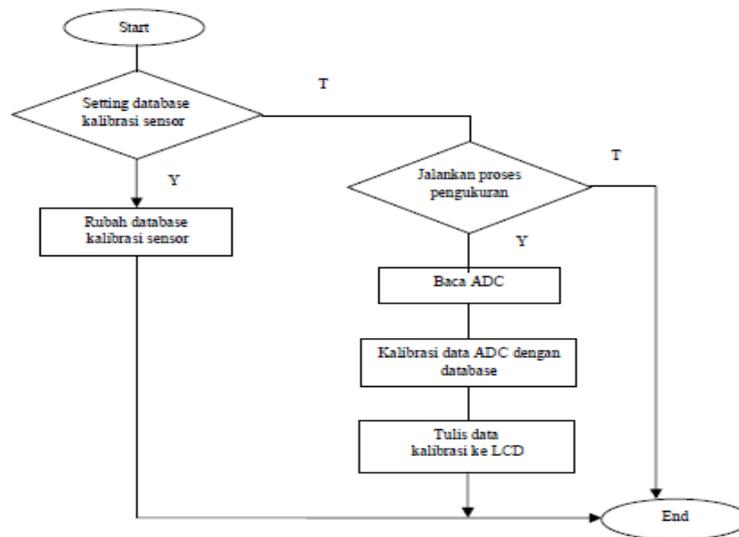
Dalam pembuatan otomatisasi pada alat maka diperlukan suatu ADC yang bertujuan untuk menkonversi tegangan analog menjadi keluaran tegangan digital sehingga dapat ditransmisikan dalam bentuk pemrograman menggunakan mikrokontroler AT89S51. Hasil dari pengukuran akan menampilkan sebuah nilai tegangan yang digunakan untuk

mengetahui nilai tegangan baja paduan. Nilai tegangan sebagai nilai yang diukur untuk kemurnian baja yang akan ditampilkan oleh LCD. Setelah memperoleh nilai baja maka instrumen cepat dimatikan agar tidak panas dan mempengaruhi pengukuran berikutnya.

Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (Software)

Perancangan dan pembuatan perangkat lunak digunakan sebagai pendukung kerja sistem. Perangkat lunak di sini adalah perintah (program) di dalam memori yang harus dilaksanakan oleh mikrokontroler. Bahasa yang digunakan adalah assembler MCS51.

Pengendalian sistem berpusat pada mikrokontroler sepenuhnya diprogram utama mikrokontroler. Memori merupakan fasilitas utama dalam mikrokontroler. Assembler MCS51 mampu memanfaatkan fasilitas multivibrator penyearah gelombang penuh dalam bentuk operasi aritmatika, logika dan transfer data. Pemanfaatan *register* data dengan tepat dimaksudkan agar program yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik dan mudah untuk dianalisis.



Gambar 3. Diagram Alir Sistem

Diagram alir utama sistem merupakan sistem alur dari suatu program otomatisasi pada instrumen. Dalam diagram alir instrument penelitian ini ketika program dijalankan terdapat dua pilihan yaitu pertama adalah *setting database* kalibrasi sensor dan kedua menjalankan proses pengukuran. Jika dipilih *setting database* kalibrasi sensor maka dapat diisi kalibrasi sensor yang nantinya akan digunakan dalam pengukuran dan jika dipilih menjalankan proses pengukuran maka program akan membaca data ADC kemudian mengkalibrasinya dengan *database* yang sudah disimpan dan hasilnya ditampilkan dengan LCD.

Tehnik Pengujian Alat

Pengujian alat berfungsi untuk mengetahui kinerja alat yang sudah dirancang, dapat bekerja sesuai dengan perencanaan atau belum. Pengujian meliputi pengujian perangkat keras dan pengujian sistem keseluruhan. Pengujian sistem keseluruhan berfungsi untuk mengetahui kerja alat apabila dirancang secara keseluruhan dan mengetahui apakah alat dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan. Berikut prosedur pengujiannya adalah

1. Memprogram mikrokontroler sesuai dengan sistem yang telah dirancang.

Hasil Pengujian Rangkaian ADC

ADC merupakan rangkaian pengkonversi dari masukan analog 0 5V menjadi suatu keluaran digital 0 – 255 data. Resolusi berfungsi sebagai nilai kali dari keluaran ADC untuk mengetahui nilai tegangan ADC setelah dikonversikan. Berikut tabel hasil masukan analog tegangan 05V yang dikonversi ke dalam keluaran digital.

Tabel 3. Hasil Pengujian Rangkaian ADC

Tegangan Analog (V)	ADC	Tegangan Konversi (V)
0	0	0
1	51	0,99
2	102	1,99
3	153	2,99
4	204	3,99
5	255	4,99

Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Arus Eddy

Berdasarkan hasil pengujian, rangkaian sensor arus eddy dapat menginduksi ke lima sampel baja dengan prosentase kadar besi (Fe) yang berbeda. ADC dapat mengkonversi dalam bentuk digital dan ditampilkan oleh LCD. Berikut ini adalah hasil pengujian rangkaian sensor arus eddy dengan melakukan 5 kali pengukuran untuk masing-masing sampel baja.

Tabel 4. Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Arus Eddy

No	Sampel	ADC	Tegangan Konversi (V)
1	1	253	4,95
		253	4,95
		254	4,98
		254	4,98
		253	4,95
2	2	250	4,90
		250	4,90
		250	4,90
		250	4,90
		250	4,90
3	3	249	4,88
		248	4,86
		248	4,86
		249	4,88
		249	4,88
4	4	247	4,84
		247	4,84
		247	4,84
		247	4,84
		247	4,84
5	5	243	4,76
		244	4,78
		243	4,76
		243	4,76
		244	4,78

Langkah pertama untuk mengetahui proses jalannya alat adalah merancang alat sesuai dengan blok diagram alir perangkat lunak, Terdapat dua pilihan yaitu *setting database* kalibrasi sensor dan kedua menjalankan proses pengukuran. Jika nilai baja sesuai dengan data kalibrasi kemurnian yang telah diujikan di laboratorium maka langsung dapat ditampilkan oleh LCD, namun jika tidak sesuai dengan data *setting* kalibrasi maka pilihan kedua adalah menjalankan proses pengukuran. Proses pengukuran dimulai dengan membaca data ADC kemudian mengkalibrasi dengan *database* yang telah tersimpan, kemudian LCD dapat menampilkan hasil dari pengukuran baja tersebut. Dalam hal ini, ADC *disetting* maksimal 250 data sehingga nilai tegangan keluaran menghasilkan 4,76 sampai 4,98 volt atau 243 sampai 254 data. ADC akan mengeluarkan nilai kemurnian sesuai dengan baja yang diujikan. Dari hasil pengukuran dapat dibuat tabel untuk menentukan batas nilai kemurnian baja.

Dalam hasil pengujian perangkat lunak ini alat dapat dijalankan sesuai dengan perencanaan. Alat hanya dapat mendeteksi kadar besi dan unsur paduan penghantar dalam baja sehingga baja yang telah terinduksi oleh sensor arus eddy menghasilkan tegangan sebagai nilai kemurnian baja sedangkan jika logam selain baja yang tidak mengandung kadar besi di dalamnya, maka ADC akan mengeluarkan tegangan nol dan LCD tidak dapat menampilkan nilai prosentasi dari material tersebut.

Pembahasan Sistem Keseluruhan

Berdasarkan hasil penelitian melalui tehnik pengujian secara keseluruhan maka hasil yang diperoleh adalah rangkaian *power supply*, generator fungsi, penyearah gelombang penuh, LCD, *keypad*, ADC, mikrokontroler dan sensor arus eddy dapat bekerja sesuai dengan perencanaan. Setiap bagian dalam sistem pada perencanaan ini dapat bekerja sesuai dengan kontrol masing-masing. LCD dapat menampilkan nilai yang dihasilkan oleh masukan analog dari penyearah gelombang penuh yang dikonversi oleh ADC dan deprogram oleh mikrokontroler. Nilai kemurnian baja diperoleh dengan cara mengambil dari nilai rata-rata pengujian yang dilakukan masing-masing sampel sebanyak 5 kali pengujian. Dalam pengujian keadaan alat juga mempengaruhi pengukuran oleh karena itu, dalam pengujian ini diberikan waktu keluaran yang berfungsi untuk menghindari adanya penurunan tegangan atau kenaikan tegangan akibat adanya pengaruh dari pengukuran pertama.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan tentang karakteristik sensor arus eddy sebagai pendeteksi nilai kemurnian baja, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sensor pendekteksi kemurnian baja berdasarkan metode induksi dapat dibuat dengan cara membuat dua buah kumparan yang dililitkan secara rapat yang disebut dengan kumparan primer dan kumparan skunder. Kedua kumparan tersebut masing-masing diberikan komponen elektronika pendukung, sehingga sensor dapat bekerja dengan baik. Sensor arus eddy akan melakukan induksi ketika diantara kumparan primer dan skunder diletakkan suatu sampel baja.
2. Untuk menentukan nilai kemurnian baja paduan dapat dilakukan dengan mendeteksi kadar besi (Fe) yang dikandungnya. Baja yang mengandung lebih banyak besi akan terinduksi lebih kuat dibandingkan dengan baja yang sedikit mengandung besi.

DAFTAR PUSTAKA

Budiharto, Widodo dan Firmansyah. 2005. *Elektronika Digital dan Mikroprosesor*. Penerbit Andi. Yogyakarta.

- Callester, William D. 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction*. The Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc. United States of America
- Cooper, Willian David. 1999. *Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*. Terjemah oleh Ir. Sahat Pakpahan. Erlangga. Jakarta
- Daryanto. 2005. *Teknik Elektronika*. Bumi Aksara. Jakarta
- Fitrianto, Yuli Adi. 2006. *Rancang Bangun Perangkat Keras dan Mekanik untuk Robot Matador Berbasis Mikrokontroler AT89S51*. Skripsi. ITS Surabaya
- Fraden, Jacob. 2003. *Handbook of Modern Sensor, Physics, Designs, and Applications*. Springer. San Diego USA
- Greiner, Walter. 1998. *Classical Electrodynamics*. Springer. San Diego USA
- Halliday dan Resnick. 1984. *Fisika Jilid 2*. Erlangga. Jakarta
- Hayt, William H. 1989. *Elektromagnetika Teknologi*. Erlangga. Jakarta
- Ian R, Sinclair. 1988. *Sensor and Tranduser A Guide for Technicians*. Great Britain. Newres
- Isaacs, Alan. 1994. *Oxford Kamus Lengkap Fisika*. Erlangga. Jakarta
- Malik, Moh Ibnu. 2003. *Belajar Mikrokontroler ATMEL AT89S8252*. Penerbit Gava Media. Yogyakarta
- Malvino, Albert Paul. 1985. *Prinsip-Prinsip Elektronika Jilid 1 Edisi ke3*.
- Meyrick and Emeritus. 2001. *Physical Metallurgy of Steel*. Person Prentice Hall. United State of America
- Nalwan, Paulus Andi. 2003. *Tehnik Antarmuka dan Pemograman Mikrokontroler AT89C51*. Alex Media Komputindo. Jakarta
- Pierre Huber, Jean. 2005. *Liquid Crystal Display Part II*. Color'n Code Sarl
- Rao, Purna Candra. 2007. *Eddy Current Non Destructive Testing*. IGCAR. India
- Saito, Shinroku dan Tata Surdia. 2005. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita. Bandung
- Setiawan, Rachmad. 2006. *Mikroprosesor 8088*. Graha Pena. Yogyakarta
- Sumisjokarto. 1985. *Elektronika Praktis Untuk Pemula dan wiraswastawan*. Jakarta: PT Multi Media
- Tokheim, Roger L. 1996. *Prinsip-Prinsip Digital*. Erlangga. Jakarta