

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI DIFRAKTOMETER SINAR-X SHIMADZU XD-5A

Ilias Ginting

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknik Nuklir-BATAN, Bandung.

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI DIFRAKTOMETER SINAR-X SHIMADZU XD-5A. Telah dilakukan pembuatan sistem kendali difraktometer sinar-x Shimadzu XD-5A berupa kartu antarmuka, penggerak motor langkah dan pengubah sinyal analog ke digital. Sistem kendali berbasis komputer pribadi ini digunakan untuk mengatur gerakan lengan detektor pada goniometer, mencuplik data intensitas serta tampilan grafik antara intensitas dan sudut hamburan pada layar monitor.

Kata kunci: rancang bangun, sistem kendali, difraktometer sinar-x, kartu antarmuka, pengubah sinyal analog ke digital.

ABSTRACT

ENGINEERING DESIGN OF CONTROL SYSTEM SHIMADZU XD-5A X-RAY DIFFRACTOMETER. It has been developed a control system of shimadzu XD-5A x-ray diffractometer that consist of interface card, stepping motor driver and analog to digital signal converter. The personal computer based control system is used to set detector arm movement of goniometer to collect intensity conting data and to display a graph of intensity versus scattering angle and intensity on the monitor screen.

Key words: engineering design, control system, x-ray diffractometer, interface card, analog signal to digital converter

PENDAHULUAN

Difraktometer sinar-x merupakan suatu peralatan dalam bidang fisika zat mampat (*solid state physics*) yang digunakan untuk menentukan struktur kristal bahan. Perangkat ini dilengkapi dengan peralatan pencacah beserta detektor sintilasi NaI-Tl, goniometer serta motor langkah (*stepping motor*) untuk menggerakkan lengan detektor

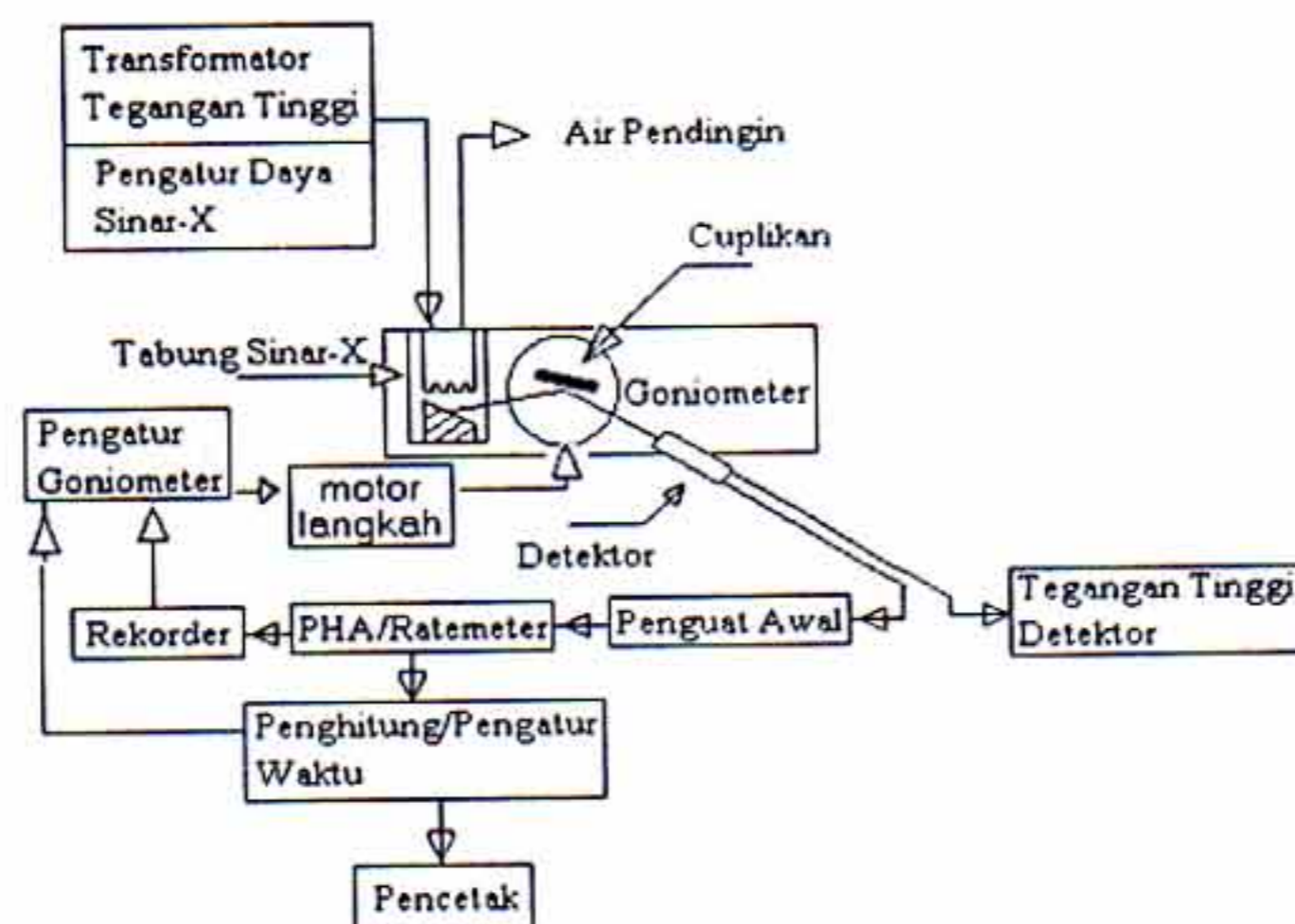
[1]. Difraktometer sinar-x yang terdapat di Puslitbang Teknik Nuklir-BATAN, Bandung termasuk dalam katagori cukup primitif yang dibuat oleh Shimadzu yang dibeli dari Jepang pada tahun 1980. Peralatan ini tidak dirancang untuk dapat berkomunikasi dengan komputer karena pada waktu itu era komputer pribadi (*personal computer*) sama sekali belum dimulai. Keterbatasan sarana pencetak data hanya memungkinkan keluaran hasil pengukuran berupa difraktogram yang direkam oleh rekorder atau cetakan hasil cacahan pada printer [2]. Sementara itu perkembangan teknologi perangkat keras dan perangkat lunak berbasis komputer pribadi saat ini telah mencapai tingkat yang sangat memudahkan para pengguna. Sebagai contoh dapat disebutkan tersedianya banyak perangkat lunak untuk mengolah data difraksi sinar-x, mulai dari penampilan difraktogram data intensitas difraksi, analisis Rietveld untuk menentukan struktur bahan, parameter kisi dan beberapa karakteristik lainnya. Akan tetapi seluruh perangkat lunak tersebut memerlukan masukan data berupa distribusi intensitas sinar-x terdifraksi sebagai fungsi sudut hamburan. Tanpa adanya perangkat antarmuka yang sesuai, seluruh proses pemasukan data intensitas dan sudut hamburan Bragg harus dilakukan secara manual satu persatu yang mengakibatkan banyak waktu terbuang.

Makalah ini akan menguraikan rancang bangun sistem kendali difraktometer sebagai perangkat keras (*hardware*) yang digunakan untuk menggerakkan motor langkah, konversi sinyal analog ke digital yang berasal dari rekorder serta pencacah/pewaktu (*counter/timer*). Selain itu juga dilakukan pembuatan perangkat lunak (*software*) yang bertujuan untuk mengendalikan motor langkah dan penyediaan pangkalan data (*database*) hasil pengukuran dan pencuplikan sinyal keluaran dari difraktometer sinar-x. Pengembangan perangkat lunak (*software*) sistem kendali difraktometer sinar-x dengan komputer pribadi dilaksanakan dengan bahasa pemrograman Turbo Pascal.

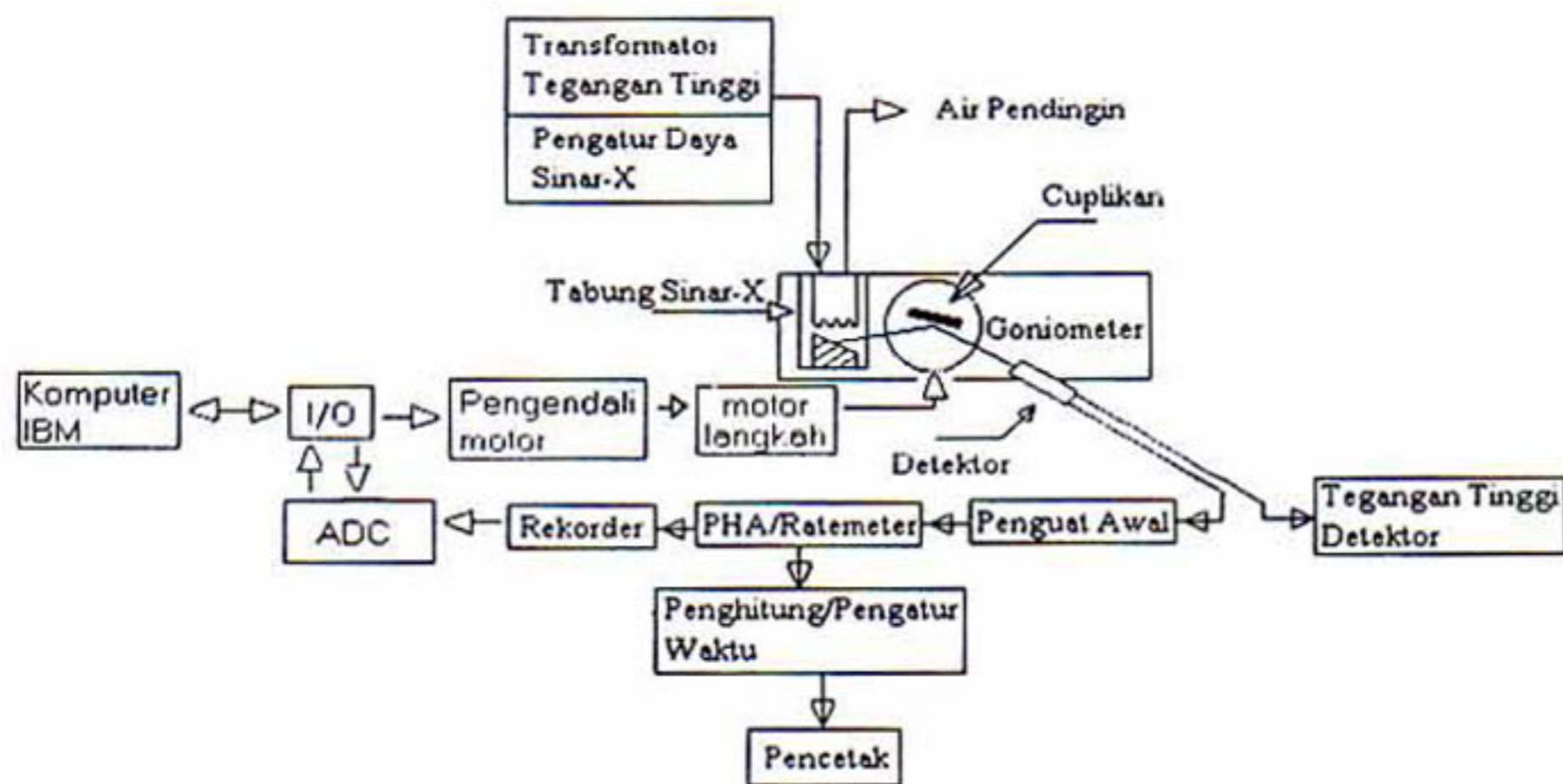
TATA KERJA

Prinsip kerja difraktometer dimulai dari berkas sinar-x monokromatis yang berasal dari tabung sinar-x, dilewatkan melalui celah soler maupun celah divergensi dan jatuh pada cuplikan. Berkas sinar-x yang jatuh pada cuplikan akan dihamburkan oleh atom-atom pada bidang tersebut dan masuk ke detektor setelah melalui celah penghambur maupun celah penerima. Berkas ini oleh detektor di ubah menjadi sinyal listrik dan keluaran dari detektor memasuki *ratemeter*, rekorder, maupun penghitung/pewaktu (*counter/timer*) setelah melalui penguat awal [3]. Sebelum kegiatan pengembangan ini dilakukan, keseluruhan operasi difraktometer sinar-x menggunakan sistem manual dan keluaran sinyal analog ditampilkan oleh rekorder berupa difraktogram intensitas sebagai fungsi sudut hamburan dalam media kertas.

Untuk mengubah sistem analog ke digital terutama dalam pembacaan intensitas, bagan difraktometer seperti terlihat pada Gambar 1 perlu di ubah ke dalam sistem terpadu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1: Bagan difraktometer sinar-x sebelum pengembangan



Gambar 2: Bagan dan sistem kendali difraktometer sinar-x setelah pengembangan

Dengan mengakses perangkat lunak di komputer ke antarmuka melalui pengendali motor, motor langkah akan menggerakkan cuplikan dan lengan detektor. Pada saat ini akan dihasilkan tegangan hasil konversi intensitas difraksi dari rekorder seperti yang dinyatakan oleh persamaan berikut ini.

$$V = f(\phi) = \beta \cdot I \quad (1)$$

dengan : V menyatakan tegangan hasil konversi intensitas dengan satuan cps (*count per second*) dan $f(\phi)$ fungsi intensitas, β tetapan pembanding dan I intensitas masukan.

Selanjutnya intensitas yang berasal dari rekorder masuk ke pengubah sinyal analog ke digital (ADC) dan tegangan fungsi intensitas $V(\phi)$ dikonversi ke data biner dengan persamaan [5]:

$$D_0(t) \cdot 2^0 + D_1(t) \cdot 2^1 + \dots + D_n(t) \cdot 2^n = \sum_{m=0}^n D_m(t) \cdot 2^m = \left[\frac{V(\phi)}{V_{ref}} \right] (2^n - 1) \quad (2)$$

dengan: $D(t)$ menyatakan data biner intensitas yang bernilai 0 atau 1, V_{ref} tegangan acuan dan 0, 1, n adalah jumlah *bit*.

Data biner intensitas akan masuk ke antarmuka melalui *central proceesing unit (CPU)*, ditampung dalam *variable data* yang di deklarasikan sebagai bilangan bulat dan diterima oleh komputer seperti yang dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$Data(t) = \left[\frac{V(\phi)}{V_{ref}} \right] (2^n - 1) \quad (3)$$

Data biner intensitas seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3) akan menghasilkan tegangan pada perangkat lunak yang dinyatakan dengan :

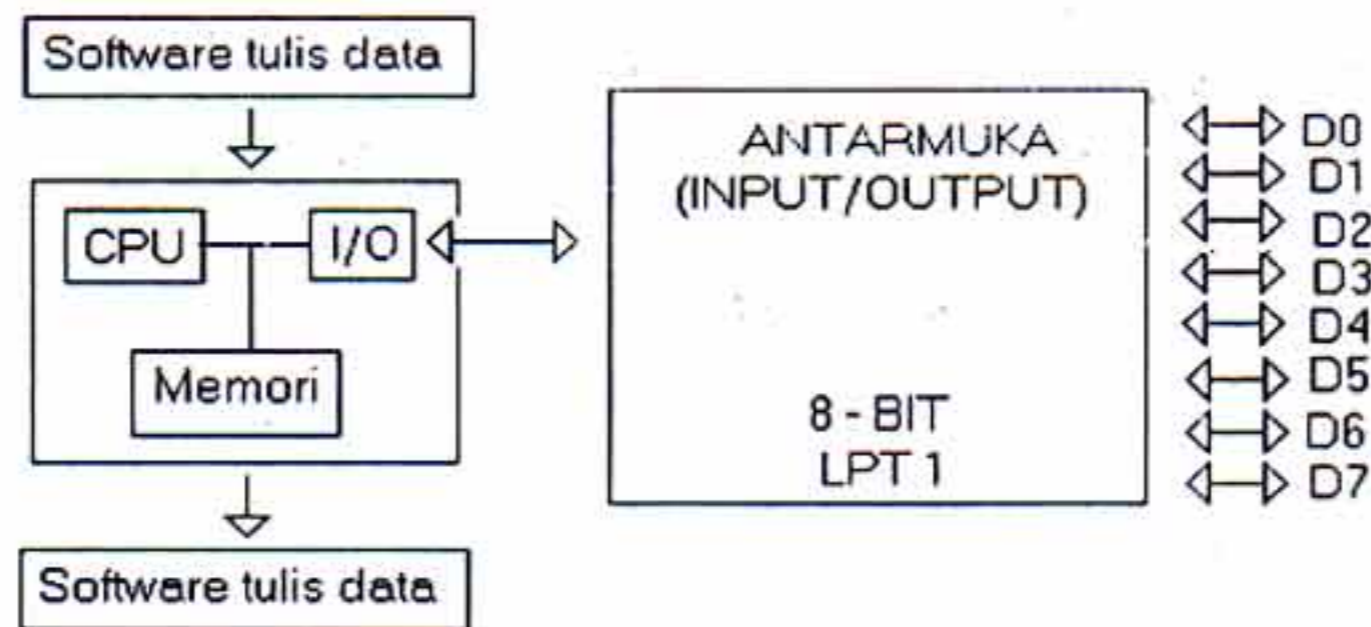
$$Teg_V = \left[\frac{Data(t)}{(2^n - 1)} \right] V_{ref} \quad (4)$$

dengan : Teg_V menyatakan tegangan pada pada perangkat lunak, $Data(t)$ merupakan data biner intensitas.

Perangkat keras yang digunakan dalam sistem kendali difraktometer sinar-x Shimadzu XD-5A terdiri dari :

a. Sistem Antarmuka

Dalam sistem mikrokomputer terdapat tiga bagian terpenting antara lain *Central Processing Unit (CPU)*, memori (*RAM/ROM*) dan *Input-Output (I/O)*. Memori berfungsi menyimpan kode-kode biner dari instruksi yang akan dijalankan *CPU* dan sebagai penyimpan data [6]. Memori dapat berupa *RAM* dan *ROM*, perbedaannya *RAM* untuk menyimpan program atau data secara sementara sedangkan *ROM* untuk program atau data secara permanen. Unit *input-output (I/O)* memungkinkan pemindahan data dari dan ke luar *CPU*. *CPU* berfungsi mengatur sinkronisasi seluruh kegiatan mikrokomputer termasuk mengambil instruksi dari memori dan menerjemahkan kode-kode biner. Pada prinsipnya rangkaian antarmuka *Input-Output (I/O)* merupakan jembatan yang menghubungkan piranti luar dengan komputer yang dikendalikan melalui perangkat lunak seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3: Diagram proses I/O data biner pada komputer pribadi IBM.

Pada dasarnya proses pemrograman dilakukan dengan cara memasukkan atau mengeluarkan logik 0 atau 1 pada urutan *bit-bit* dalam sistem bilangan biner. Sesuai dengan Gambar di atas, komputer pribadi IBM dengan perangkat lunak baca-tulis dan antarmuka input-output, dapat memasukkan atau mengeluarkan data melalui bus atau jalur data yang disusun delapan *bit* yaitu D0 (*Least Significant Bit* atau *LSB*) - D7 (*Most Significant Bit* atau *MSB*). Pada komputer pribadi IBM disediakan slot-slot ekspansi dan satu slot terdapat 62 *pin* yang terdiri dari 8 *pin* untuk jalur data dua arah, 6 *pin* untuk level interupsi dan sisanya untuk sinyal kontrol memori, I/O, sinyal *timing*, *clock* dan *pin* catu daya $\pm 5V$, $\pm 12V$. Dengan *slot* ekspansi ini dapat dibuat antarmuka yang pengendaliannya dilakukan dengan perangkat lunak. Ada beberapa hal yang perlu dibahas berkaitan dengan perancangan antarmuka pada *slot* ekspansi yaitu :

1. Rangkaian. PORT - SELECT

Rangkaian ini dirancang untuk menerjemahkan (*decode*) beberapa alamat kosong yang akan digunakan untuk mengaktifkan alat periferal di luar mikrokomputer. Sinyal PORT - SELECT merupakan sinyal pendahuluan sebelum proses pemindahan data dilakukan.

2. Sinyal *Address Enable* (\overline{AEN}).

Sinyal ini merupakan sinyal status pada *I/O* yang digunakan untuk mengetahui alamat yang keluar berasal dari mikroprosesor atau bukan. Apabila sinyal aktif rendah berarti alamat berasal dari mikroprosesor sedangkan pada saat sinyal \overline{AEN} dalam kondisi tinggi, maka mikroprosesor tidak berhubungan dengan bus. Sinyal \overline{AEN} yang dipadu dengan $\overline{PORT-SELECT}$ akan membentuk sinyal *BOARD-SELECT* (*BS*) seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Sinyal *BOARD-SELECT* berfungsi untuk mengecek agar alamat benar-benar berasal dari mikroprosesor.



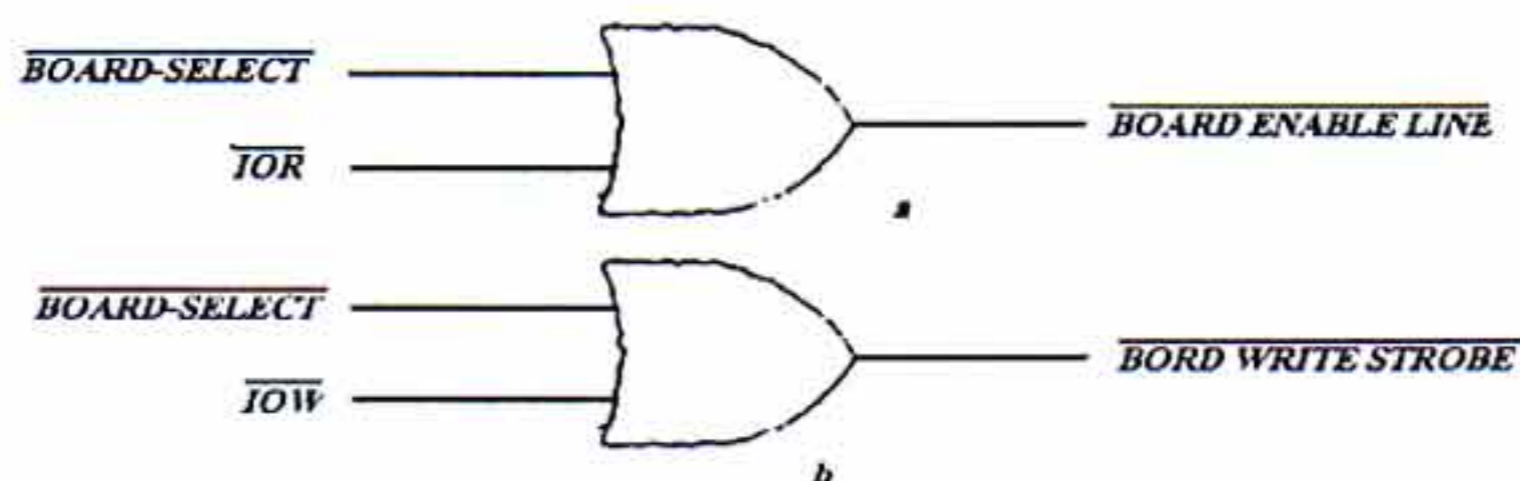
Gambar 4: Rangkaian $\overline{BOARD-SELECT}$ yang dibentuk dengan gerbang OR

3. Sinyal pembacaan dan penulisan *IOR/IOW*.

Sinyal *Output* dari sistem *I/O* pada *slot* ekspansi menunjukkan bahwa operasi tulis atau baca sedang berlangsung. Kedua sinyal ini aktif dalam kondisi rendah.

4. *Latch Data Input* (*LDI*) dan *Latch Data Output* (*LDO*).

Komponen yang berfungsi sebagai gerbang untuk mengunci data pada saat proses pemindahan data dari dan ke komputer. Sinyal *Board Enable Line* (*BEL*) dan *Board Write Strobe* (*BWS*) pada antarmuka dirancang untuk mengendalikan *LDI* atau *LDO* pada saat pemindahan data. Sinyal ini dibentuk dari kombinasi sinyal *Board select* (*BS*) dengan sinyal *Input Output Read* (*IOR*) atau *Input Output Write* (*IOW*) dengan ketentuan aktif berlogika 0 (rendah) dan mengunci *LDI* atau *LDO* pada logika 1 (tinggi).

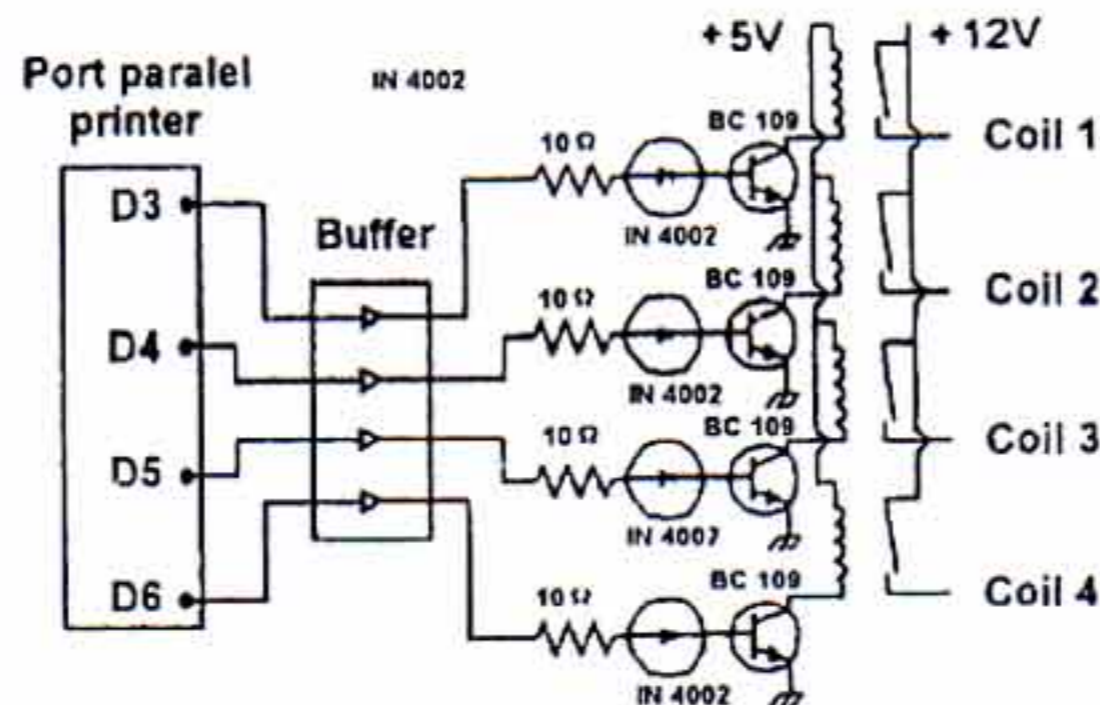


Gambar 5. Rangkaian a. $\overline{BOARD ENABLE LINE}$ (\overline{BEL})
b. $\overline{BOARD WRITE STROBE}$ (\overline{BWS})

Pada saat mikroprosesor melakukan pembacaan data, BEL aktif dengan memberikan sinyal rendah ke LDI sehingga data dapat masuk ke bus data. Setelah pembacaan selesai. Sinyal BEL kembali tinggi dan membuat jalan masuk data ke bus data tertutup. Demikian juga apabila mikroprosesor menulis data, sinyal BWS aktif dengan memberikan sinyal rendah ke LDO , sehingga penulisan data dapat dilakukan. LDO akan terkunci ketika sinyal BWS tinggi dan penulisan data selesai disusul menghilangnya data pada bus data.

b. Kendali motor langkah.

Motor langkah (*stepping motor*) merupakan motor yang dirancang khusus dengan gerakan secara diskrit. Sama halnya dengan motor jenis lain, motor langkah memiliki *rotor* (bagian yang berotasi) dan 4 *stator unipolar* (bagian yang statis) yaitu *coil 1*, *2*, *3* dan *coil 4*. Motor langkah yang digunakan pada difraktometer sinar-x memiliki akurasi 200 langkah per rotasi atau sebesar 1.8 derajat. Motor langkah memerlukan tegangan 12V, arus 1A sedangkan tegangan keluaran *pin LPT* hanya 4.2V. Untuk menaikkan tegangan dan arus telah dibuat suatu rangkaian yang dinamakan *motor drive* seperti terlihat pada Gambar 6. Keluaran pulsa dari *port 378H* dilewatkan ke tahanan 10Ω dan dioda IN4002 untuk mencegah arus balik ke komputer.



Gambar 6: Rangkaian pengendali motor langkah

Selanjutnya rangkaian ini dihubungkan ke kaki basis transistor BC109 yang berfungsi sebagai saklar. Keluaran saklar memicu *relay* untuk mengalirkan tegangan 12V dan arus 1A. Gerak motor langkah ditentukan dengan memilih urutan penyalaan kumparan *stator* seperti terlihat pada Tabel 1. Penyalaan kumparan *stator* dilakukan secara berurutan dikendalikan oleh *pin* 5 (D3), *pin* 6 (D4), *pin* 7 (D5), *pin* 8 (D6) dari *port* LPT.

Tabel 1. Urutan penyalaan kumparan *stator* motor langkah untuk gerakan searah dan berlawanan jarum jam.

| Port | Gerakan searah jarum jam | | | | | Port | Gerakan berlawanan jarum jam | | | | |
|------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------|------|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------|
| | Stator coil 1 | Stator coil 2 | Stator coil 3 | Stator coil 4 | Desimal | | Stator coil 1 | Stator coil 2 | Stator coil 3 | Stator coil 4 | Desimal |
| D3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | D6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 64 |
| D4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16 | D5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 32 |
| D5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 32 | D4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 16 |
| D6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 64 | D3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 |

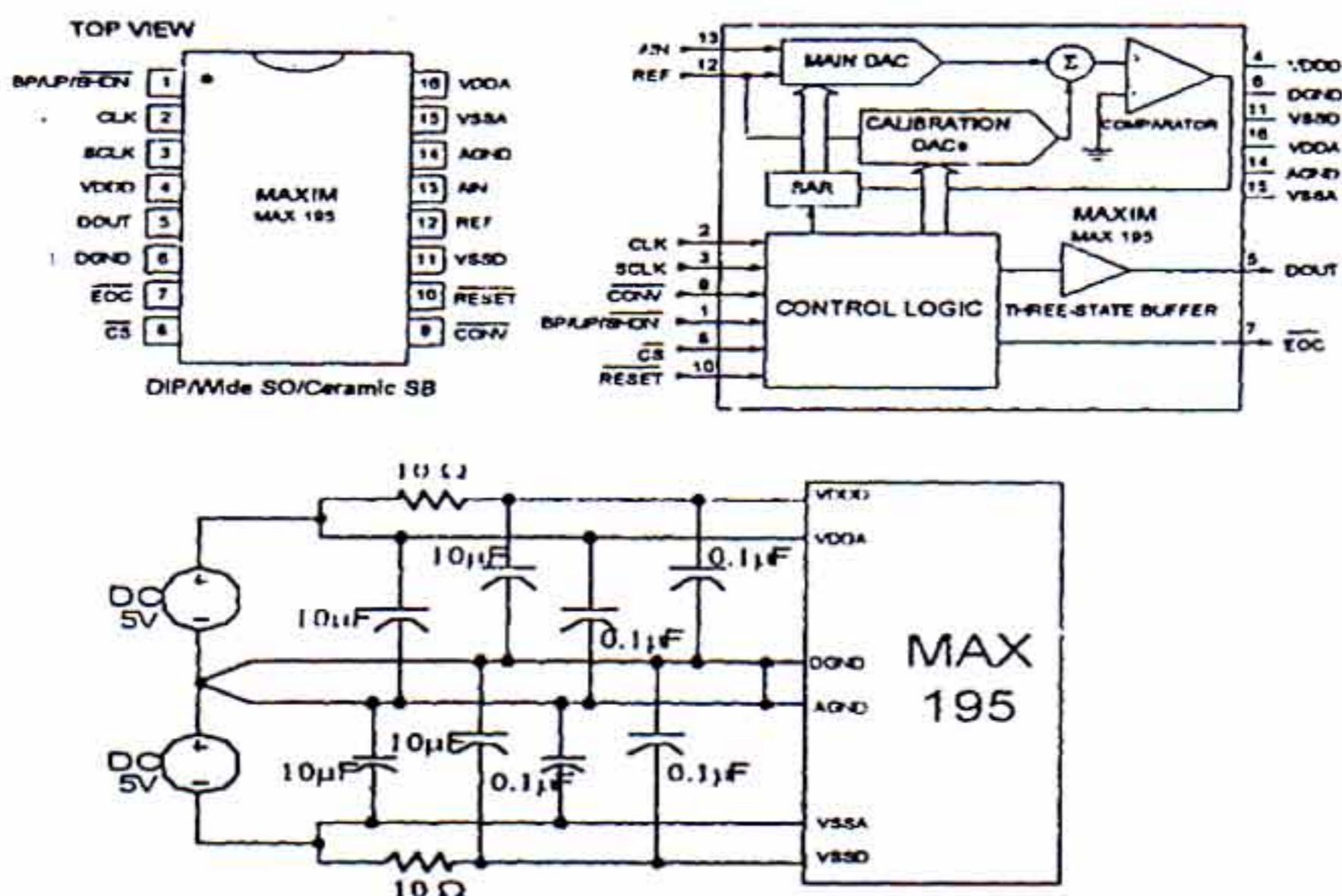
Keterangan : 0 = mati, 1 = hidup.

c. Pengubah sinyal Analog ke Digital (ADC).

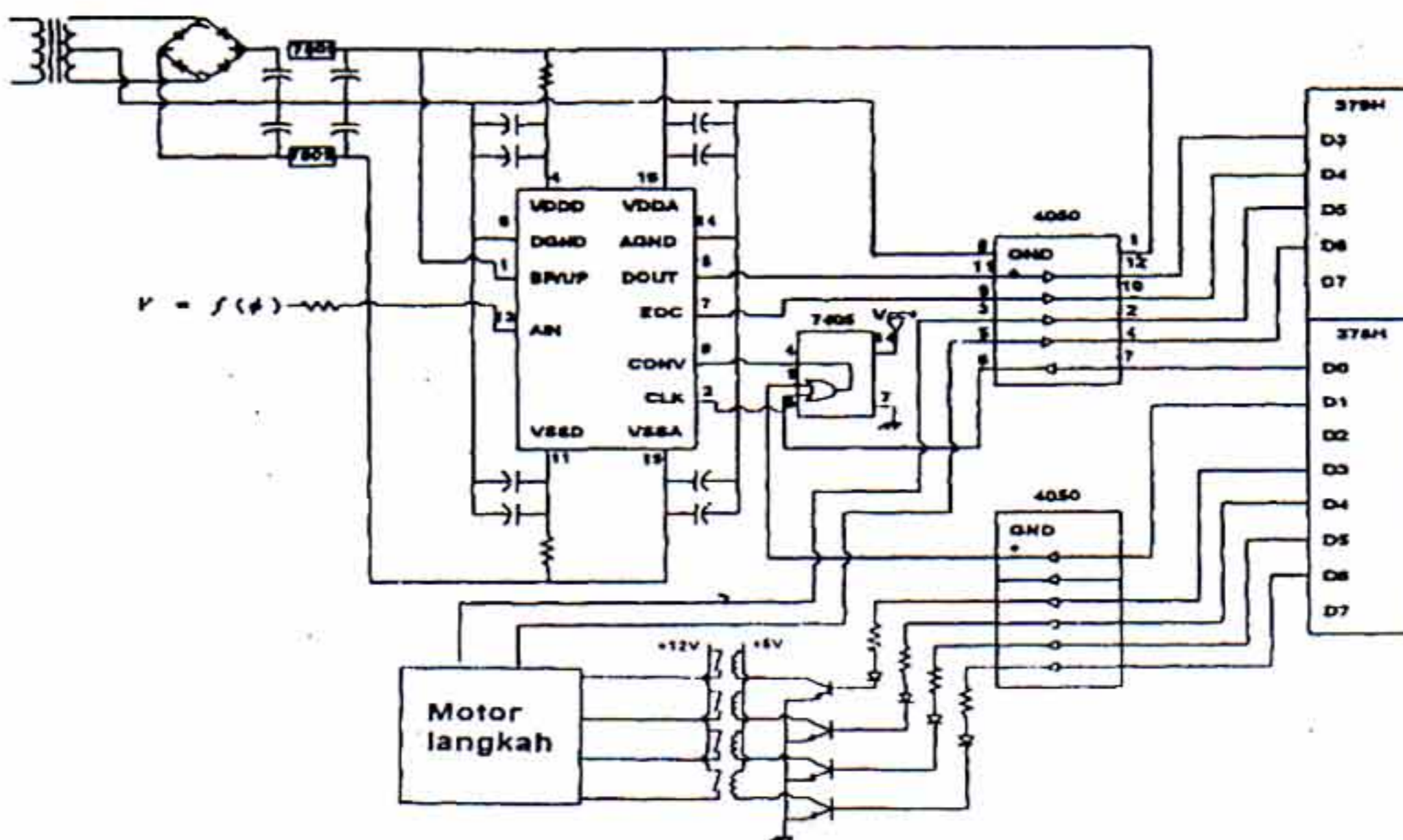
Pengubah sinyal analog ke digital (*analog to digital converter*) berfungsi untuk mengubah sinyal analog baik berupa tegangan atau arus menjadi sinyal digital dalam bentuk kode-kode biner berupa *byte-byte* karakter secara seri atau paralel. ADC yang dipilih merupakan ADC tipe *successive approximation register (SAR)* yang bekerja dengan cara membandingkan masukan analog terhadap tegangan acuan DAC secara berulang-ulang dan tidak bergantung pada besarnya masukan analog. Pengubah sinyal analog ke digital yang digunakan berupa ADC Maxim MAX195 16 bit dengan keluaran data serial, waktu konversi minimum 10 mikrodetik serta tegangan acuan *unipolar* (0,5) V dan *bipolar* (-5,0,5) V. Proses pengendalian menggunakan *clock* maksimum 1.7 MHz, dilengkapi konversi *start* dan *end*. Pada Gambar 7 ditunjukkan konfigurasi *pin* ADC Maxim MAX195 beserta rangkaian catudaya [7]. Sinyal masukan intensitas dari rekorder yang telah di ubah menjadi tegangan dilewatkan melalui tahanan sebelum masuk ke ADC melalui *pin AIN* untuk dikonversi ke sinyal digital. Hasil konversi analog ke serial data biner dari ADC pada *pin DOUT* masuk ke *pin* 15 (D3) pada *port* 379H. Proses konversi ADC dikendalikan oleh sinyal OR antara sinyal *clock* dan *start* yang berasal dari *pin* 2 (D0) dan *pin* 3 (D1) pada *port* 378H. Proses konversi ADC dinyatakan selesai (*EOC*) bila sinyal masuk ke *pin* 13 (D4) pada *port* 379H. Rangkaian lengkap sistem kedali difraktometer sinar-x yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 8.

Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang dikembangkan pada sistem kendali difraktometer sinar-x digunakan untuk gerak motor dan perekaman sinyal. Rentang sudut hamburan goniometer yang dapat digunakan dalam percobaan dari 0° hingga 160° dengan perpindahan sudut terkecil yang dapat dicapai oleh motor langkah sebesar 0.005°/step.



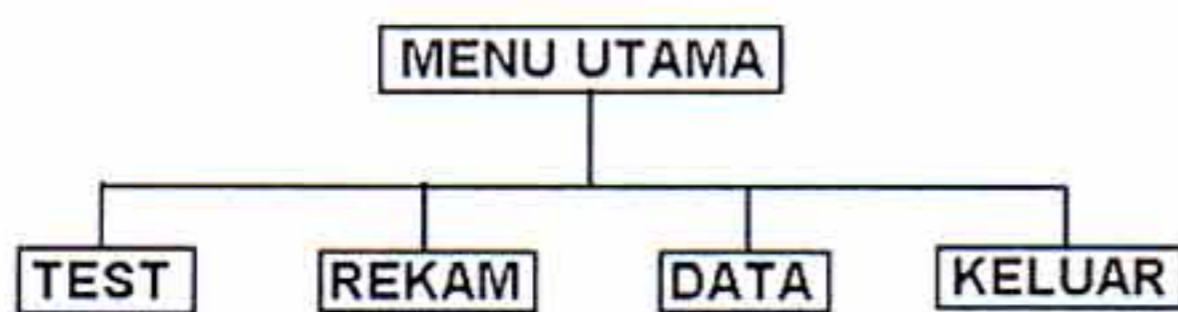
Gambar 7 : Konfigurasi pin dan catu daya ADC Maxim MAX195.



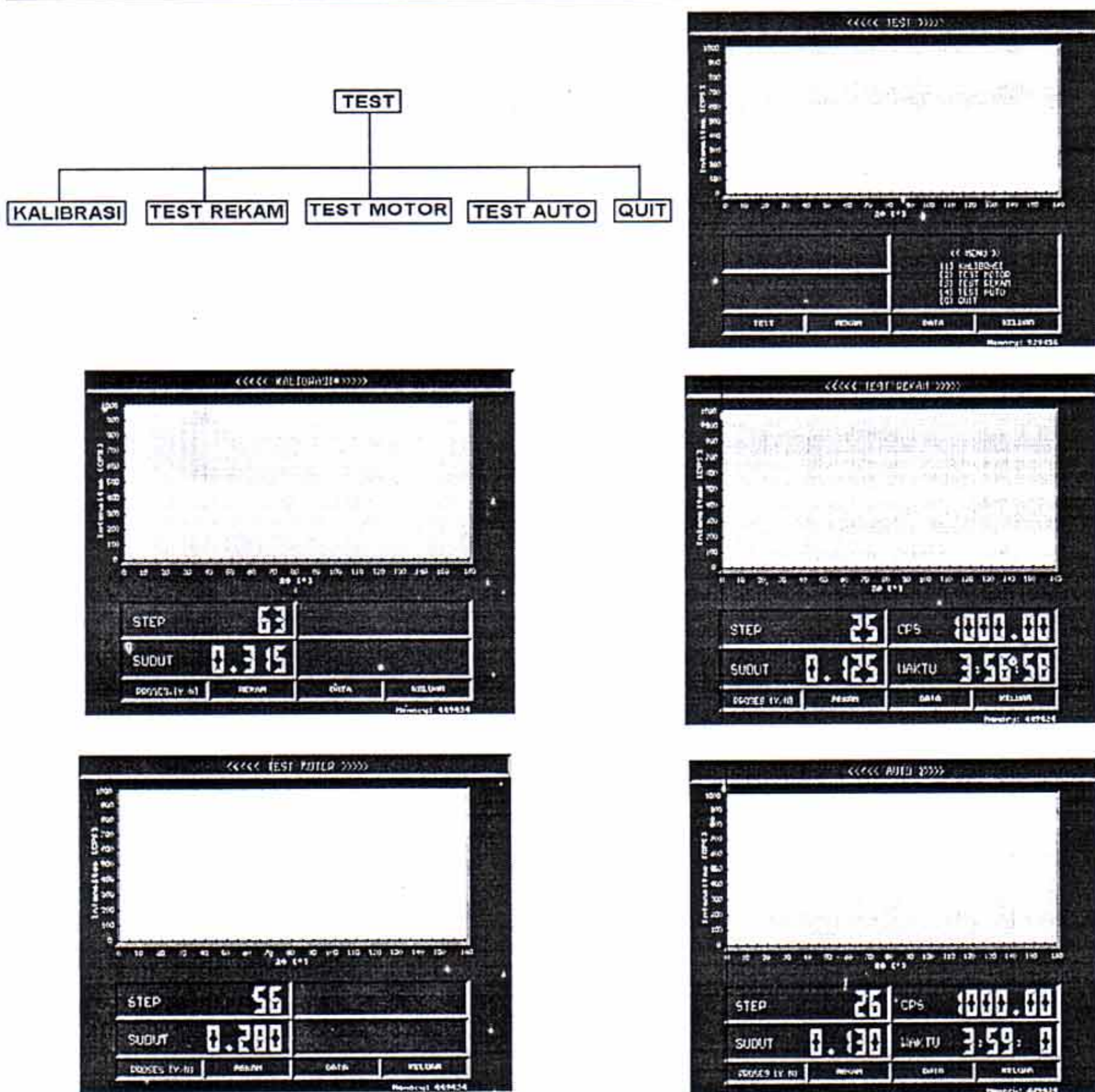
Gambar 8: Rangkaian lengkap sistem kendali difraktometer sinar-x.

Sementara perekaman sinyal yang berasal dari rekorder memiliki rentang nilai dari 0 cps sampai 1000 cps, yang dikonversi ke tegangan dengan rentang 0V hingga 1V.

Diagram alir menu UTAMA dan jendela UTAMA perangkat lunak sistem kendali difraktometer sinar-x ditunjukkan dalam Gambar 9 yang berisi Submenu TEST, Submenu REKAM, Submenu DATA dan Submenu KELUAR. Submenu TEST berfungsi sebagai pengujian putaran motor dan proses perekaman sinyal keluaran dari rekorder. Submenu REKAM untuk melaksanakan proses perekaman sinyal, Submenu DATA untuk melihat kembali hasil perekaman dan Submenu KELUAR untuk mengakhiri program. Submenu TEST terdiri dari menu KALIBRASI berfungsi untuk mengendalikan lengan detektor pada titik nol, menu TEST MOTOR untuk mengendalikan putaran motor, menu TEST REKAM untuk menguji kinerja proses rekam, menu TEST AUTO untuk pengujian keduanya secara bersamaan dan menu QUIT untuk keluar dari Submenu dan kembali ke menu UTAMA. Diagram alir Submenu TEST ditunjukkan pada Gambar 10.

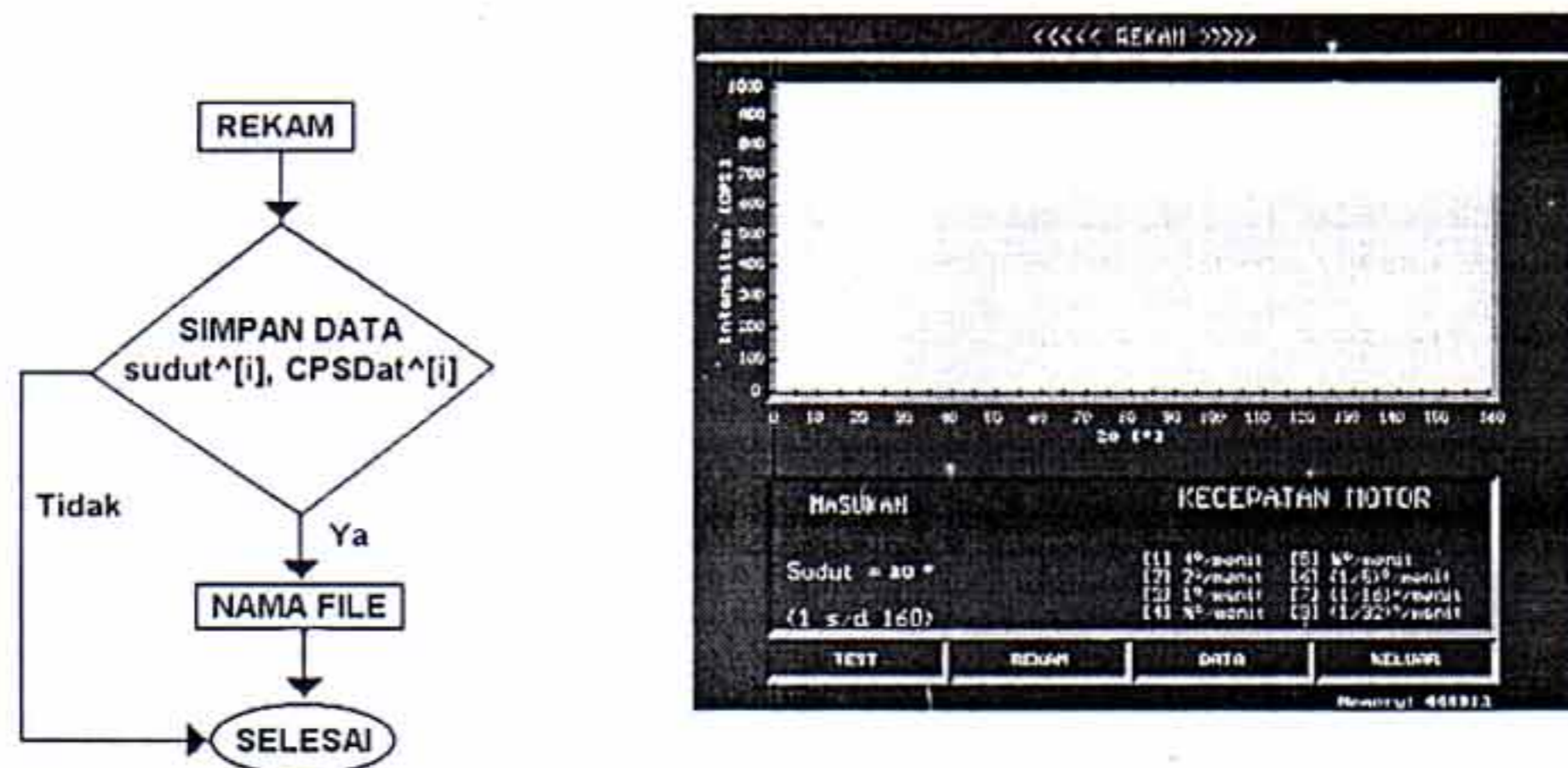


Gambar 9 : Diagram alir menu UTAMA dan jendela UTAMA



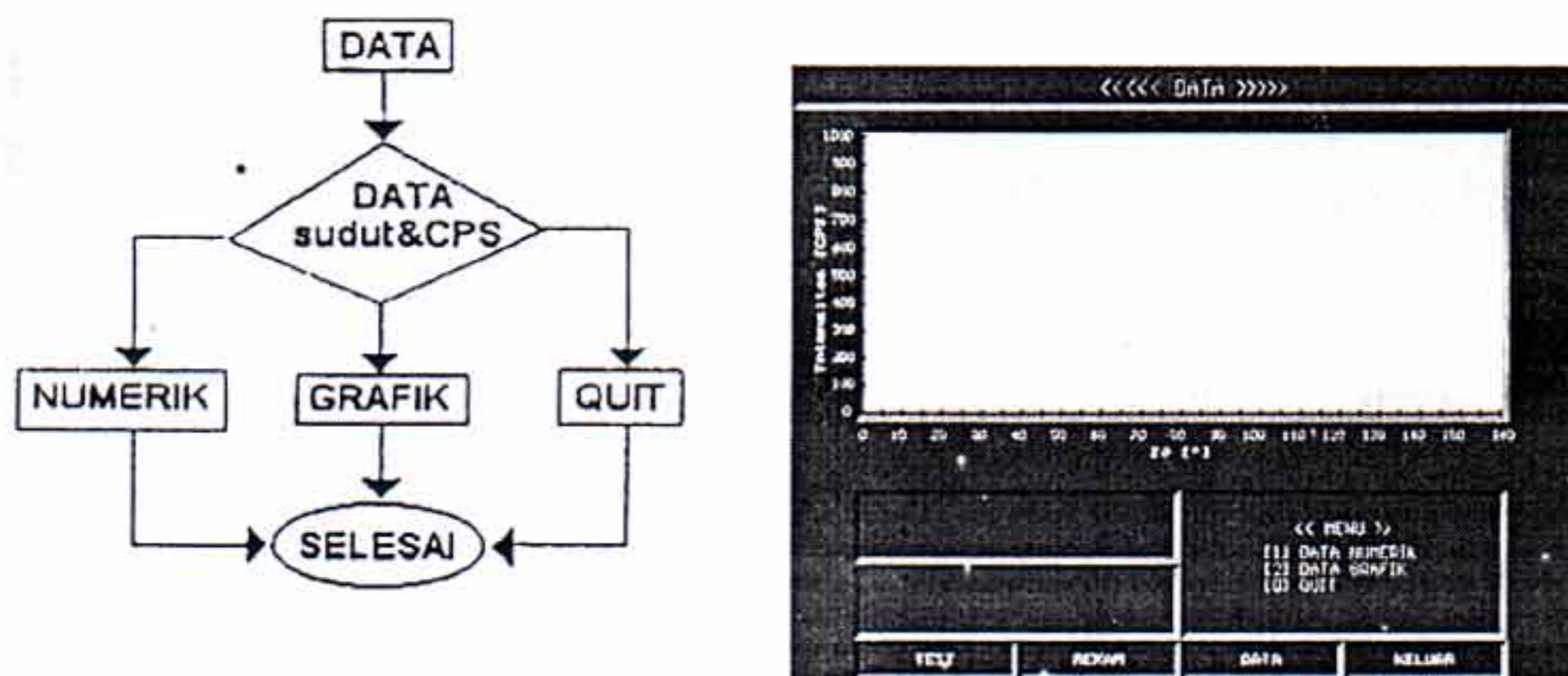
Gambar 11. Diagram alir dan tampilan pada layar untuk submenu TEST

Submenu REKAM pada prinsipnya sama dengan menu TEST REKAM pada Submenu TEST hanya dalam Submenu REKAM ditambahkan instruksi pilihan untuk menyimpan data dalam bentuk arsip (*file*) atau tidak. Diagram alir Submenu REKAM ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 : Diagram alir dan tampilan pada layar untuk Submenu REKAM

Submenu DATA berfungsi untuk menampilkan hasil perekaman intensitas fungsi sudut sudut yang dapat dilihat dalam bentuk grafik atau numerik. Diagram alir Submenu DATA ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 : Diagram alir dan tampilan pada layar untuk Submenu DATA.

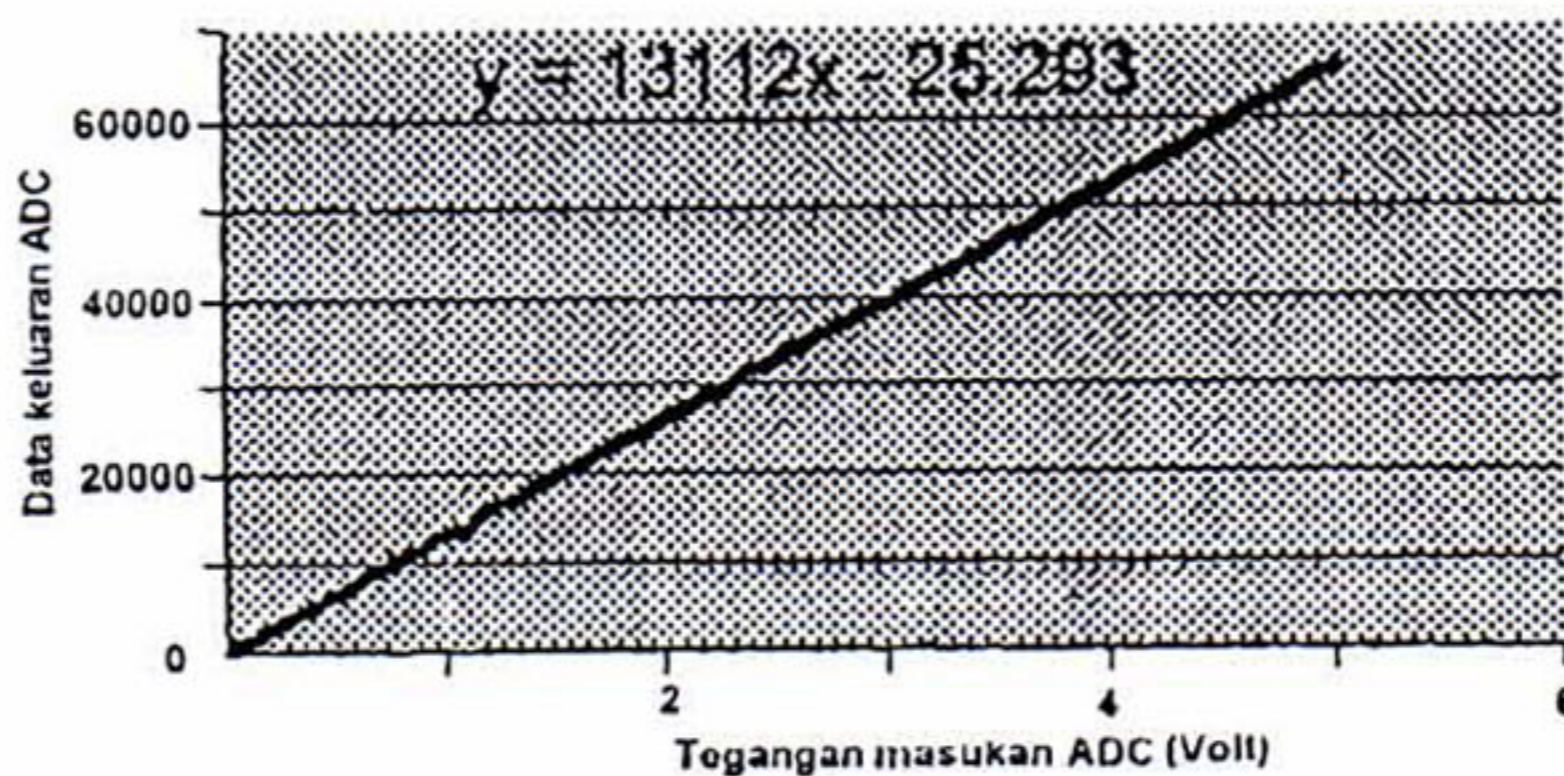
Difraktometer sinar-x mempunyai dua cara untuk proses pencuplikan data yaitu metode kontinu dan langkah demi langkah (*step counting*). Untuk metode kontinu ada beberapa pilihan kecepatan pengukuran yaitu $4^\circ/\text{menit}$, $2^\circ/\text{menit}$, $1^\circ/\text{menit}$, $1/2^\circ/\text{menit}$, $1/4^\circ/\text{menit}$, $1/8^\circ/\text{menit}$, $1/16^\circ/\text{menit}$ dan $1/32^\circ/\text{menit}$. Penentuan waktu tunda (*delay time*) pada setiap kecepatan pengukuran perlu dilakukan untuk digunakan dalam perangkat lunak, disebabkan setiap komputer mempunyai karakteristik prosesor berbeda terutama dalam hal kecepatan proses data. Pada Tabel 2 ditunjukkan besaran waktu tunda untuk setiap kecepatan pengukuran dan lama waktu yang diperlukan untuk mencapai sudut hamburan dari 0 hingga 160° menggunakan komputer pribadi Pentium MMX-200. Pencuplikan data intensitas dilakukan setiap 4 langkah motor atau sebesar 0.02° agar data yang ditampilkan tidak terlalu padat.

Tabel 2 : Penentuan waktu tunda untuk metode kontinu.

| Kecepatan pengukuran (derajat/menit) | Waktu tunda | Waktu pengukuran (jam : menit : detik) |
|--------------------------------------|-------------|--|
| 4 | - | 00 : 40 : 00 |
| 2 | 48 | 01 : 20 : 00 |
| 1 | 182 | 02 : 40 : 00 |
| $1/2$ | 493 | 05 : 20 : 00 |
| $1/4$ | 1100 | 10 : 40 : 00 |
| $1/8$ | 2300 | 21 : 20 : 00 |
| $1/16$ | 4663 | 42 : 40 : 00 |
| $1/32$ | 9287 | 85 : 20 : 00 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

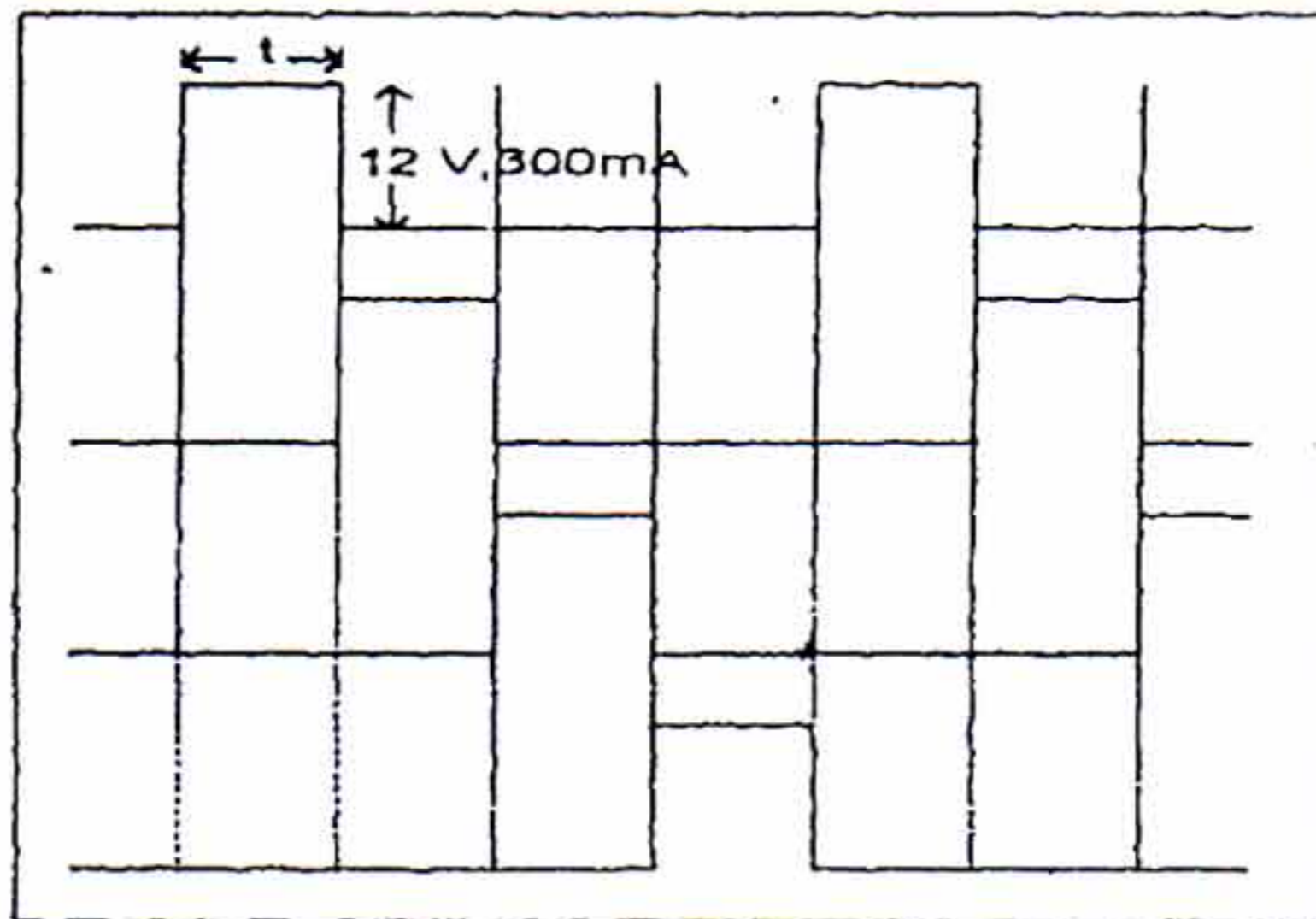
Untuk menentukan kinerja alat yang telah dibuat, perlu dilakukan uji kualitas sinyal dan linieritas hasil konversi data oleh ADC. Pengujian kualitas sinyal dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan ke ADC berupa sinyal sinusoidal dengan frekuensi 2.1 KHz. Sedangkan untuk uji linieritas dilakukan dengan cara memberikan tegangan masukan yang bervariasi dari 0.05 V hingga 5V dengan ΔV sebesar 0.05V. Dengan menggunakan persamaan garis diperoleh persamaan hasil konversi data keluaran dari ADC terhadap tegangan masukan yaitu $y = 13112x - 25.293$ dan bentuk kurva yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 : Uji linieritas tegangan masukan terhadap konversi data keluaran ADC.

Selain itu juga dilakukan pengujian kinerja sistem penggerak (motor) yang terdiri dari uji kinerja perangkat lunak dan rangkaian kendali motor. Uji perangkat lunak dilakukan dengan kebenaran logika bilangan desimal 8, 16, 32 dan 64 dimana bilangan tersebut mewakili bobot biner dari saluran yang dipilih dalam alamat *port* 378H yaitu *pin* 5 (D3), *pin* 6 (D4), *pin* 7 (D5) dan *pin* 8 (D6). Uji perangkat lunak ini dilakukan dengan *probe logic 8 bit* dan keluaran *port* printer dapat menyalakan *led bit* ke tiga hingga *bit* ke enam. Dari hasil pengamatan uji perangkat lunak berjalan sesuai dengan

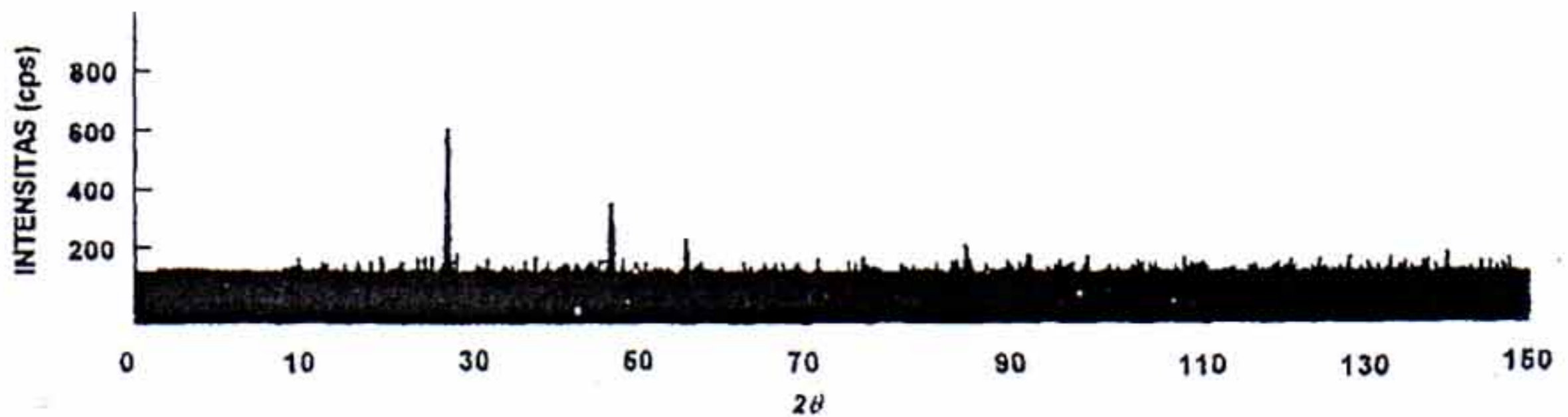
perencanaan dan ini dibuktikan oleh urutan waktu penyalaan indikator *led* baik untuk gerakan searah maupun berlawanan jarum jam. Pengujian dari rangkaian kendali motor (*motor drive*) dilakukan dengan menggunakan osiloskop yang menghasilkan data daur langkah (*step*) untuk menggerakkan motor seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Dari pengamatan diperoleh data tegangan yang dikirim per pulsa sebesar 12V, sedangkan arus yang mengalir sebesar 300mA.



Gambar 12 : Bagan daur langkah motor penggerak difraktometer sinar-x.

Pengoperasian peralatan difraktometer sinar-x dengan cara kontinu menggunakan perangkat lunak menu UTAMA terutama pada Submenu REKAM telah dilakukan uji coba menggunakan serbuk silikon (Si) dimulai dari sudut 10° hingga 150° dengan kecepatan pengukuran $4^\circ/\text{menit}$. Tabung sinar-x yang digunakan dalam percobaan ini yaitu tembaga dengan tegangan kerja 30 kV dan arus sebesar 40 mA yang menghasilkan spektrum karakteristik $\text{CuK}\alpha$ dengan panjang gelombang sebesar 1.54 angstrom dan tinggi pulsa yang keluar pada rekorder di atur melalui modul range cps sebesar 1000. Hasil percobaan serbuk silikon yang terekam pada *file harddisk*,

pengguna menekan tombol 'keyboara' pada Submenu DATA dan menu DATA GRAFIK dapat ditampilkan pada layar monitor intensitas sebagai fungsi sudut hamburan seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 : Pola difraksi silikon menggunakan tabung tembaga.

KESIMPULAN

Pembuatan sistem kendali difraktometer sinar-x SHIMADZU XD-5A telah selesai dilakukan. Hasil uji coba perangkat keras terutama pada ADC untuk menerima dan mengirim data dan demikian juga untuk kendali (*drive*) motor langkah menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat berfungsi dengan baik. Uji coba perangkat lunak juga telah dilakukan dengan melakukan percobaan dengan serbuk silikon. Akan tetapi dari Gambar 13 terlihat intensitas terhambur dari cuplikan silikon terlalu rendah disebabkan sensitivitas kristal detektor NAI-Tl telah menurun dan perlu diganti dengan yang baru.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Ajat Yuda Miranda MS, Dosen Jurusan Fisika Univ. Pajajaran, Bandung atas sumbang saran yang diberikan dalam pembuatan sistem kendali difraktometer sinar-x Shimadzu XD-5A Puslitbang Teknik Nuklir-BATAN, Bandung. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Dony Cahyadi dan Ahmad Siroj Sumpena Mahasiswa Tugas Akhir Jurusan Fisika Univ.