

PEREKAYASAAN MODUL KONTROL PEMINDAI 1D UNTUK KALIBRASI PERANGKAT BRAKHITERAPI

Ikhsan Shobari, Indarzah Masbatin Putra, M. Amin HD, Joko Triyanto
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN, Gedung 71, Lantai 2,
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, Banten. 15310.
ishobary@batan.go.id

ABSTRAK

PEREKAYASAAN MODUL KONTROL PEMINDAI 1D UNTUK KALIBRASI PERANGKAT BRAKHITERAPI. Telah dilakukan perengkayaan perangkat kontrol pemindai satu dimensi (paparan radiasi versus posisi elektrometer), yang akan digunakan untuk menggerakkan secara teratur dan presisi perangkat elektrometer. Perangkat elektrometer digunakan untuk melakukan pengukuran dan paparan sumber radioaktif yang akan digunakan pada perangkat brakhiterapi. Perintah pergerakan dilakukan dari ruangan lain menggunakan protokol komunikasi TCP/IP. Aplikasi berbasis peramban digunakan untuk menampilkan menu antarmuka perintah pemindaian. Pada pengujian yang dilakukan tanpa menggunakan elektrometer dan sumber radioaktif, sistem dapat berfungsi dan perintah yang dipilih merespon perintah sesuai dengan yang telah ditentukan tanpa kesalahan. Sistem ini dapat digunakan pada elektrometer analog ataupun yang sudah memiliki fitur penyimpanan hasil pengukuran. Hal ini dimungkinkan karena terdapat IP kamera sebagai alat untuk melihat hasil pengukuran dari ruang kontrol.

Kata kunci: motor stepper, pemindai, kalibrasi, brakhiterapi,

ABSTRACT

AN ENGINEERING DEVELOPMENT OF 1D SCANNING CONTROL MODULE FOR BRACHYTHERAPY DEVICE CALIBRATION. An Engineering development of one-dimensional radiation control scanner versus the electrometer method has been designed, which will be used to move the electrometer with regularity and precision. Electrometer devices are used to measure and expose radioactive sources to be used in brachytherapy devices. Movement orders are carried out from another room using the TCP/IP communication protocol. Browser based on an application is used to display the scan command interface menu. In experiment test without the use of an electrometer and radioactive source, the system can work properly and the selected command responds to the command as specified without error. This system can be used on analog electrometers or those that already have a feature to store measurement results. This is possible because there is an IP camera as a tool to see the measurement results from the control room.

Keywords: motor stepper, scanning, calibration, brakhiterapy

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pengetahuan teknologi pengobatan dan diagnosis saat ini berkembang dengan sangat pesat, salah satu diantaranya adalah di bidang kedokteran nuklir. Brakhiterapi merupakan salah satu kelompok metoda pengobatan radioterapi, untuk mengobati tumor atau kanker. Teknik pengobatan dengan brakiterapi dilakukan dengan memasukan sumber radioaktif ke dalam tubuh dan kontak langsung dengan jaringan kanker, sehingga dosis radiasi dapat diberikan langsung di tempat yang dibutuhkan^[1]. Pengoperasian perangkat brakhiterapi ini diatur dengan sangat ketat, melalui pembatasan pemanfaatan sumber radiasi, dengan pertimbangan asas manfaat^[2]. Menurut C. Deehan and Jao Donoghue, brakhiterapi berdasarkan laju dosis yang diberikan pada sel kanker membagi dalam 3 kelompok, yaitu 0,4-2 Gy/jam adalah LDR (*Low Dose Rate*), 2-12 Gy/jam adalah MDR (*Medium Dose Rate*) dan lebih dari

12 Gy/jam adalah HDR (*High Dose Rate*)^[3]. Pengoperasian brakhiterapi ini memerlukan perijinan dari BAPETEN untuk memberikan jaminan keselamatan terhadap pasien, petugas medis dan operatornya^[4]. Kalibrasi sumber radioaktif pada instalasi brakhiterapi baru atau setelah dilakukan penggantian sumber radioaktif harus dilakukan untuk mendapatkan ijin pengoperasian^[5, 6]. Kalibrasi sumber radioaktif pada perangkat brakhiterapi penting dilakukan dan sudah merupakan prosedur sebelum digunakan untuk terapi kepada pasien, untuk mendapatkan dosis iradiasi yang tepat^[7].

Pada makalah ini disampaikan rancang bangun peralatan kontrol yang akan dapat digunakan untuk melakukan kalibrasi sumber radioaktif pada perangkat brakhiterapi, dengan memetakan ordinat paparan radiasi terhadap ordinat jarak. Peralatan kontrol akan memerintahkan dua buah *motor stepper* menggerakkan elektrometer dan kamera pemantau dengan jarak gap (*grid*) tertentu. Antar muka peralatan kontrol diakses dengan program aplikasi peramban, sehingga dapat diakses dengan perangkat dengan platform sistem operasi yang berbeda. Komunikasi antar komputer kontrol dengan modul kontrol menggunakan protokol komunikasi TCP/IP (*Transmission Control Protocol (TCP)/Internet Protocol*), sehingga dapat dilakukan dengan kabel UTP (*Unshielded Twisted Pair*) atau tanpa kabel dengan media Wifi (*Wireless Fidelity*). Pembacaan data elektrometer dapat dilakukan secara manual dengan entri data atau ditulis. Pada elektrometer dengan fasilitas *data logger*, data dapat langsung dikombinasikan dengan posisi pemetaan secara otomatis, sehingga dihasilkan grafik satu dimensi paparan radiasi versus jarak dalam posisi ordinat x dan y. Dimensi pemetaan dengan luasan tinggi 50 cm dan panjang 150 cm.

2. TATA KERJA

Proses pelaksanaan rancang bangun ini diawali dengan melakukan literasi perangkat kalibrasi sumber radioaktif untuk brakhiterapi, dan proses kalibrasinya. Literasi bahan dan *data sheet* yang akan digunakan untuk mempersiapkan rancang bangun, membuat inventaris kebutuhan bahan dan peralatan yang akan digunakan. Referensi terhadap produk yang sudah ada dan proven dilakukan dengan memodifikasi ukuran dan area yang lebih luas^[8]. Proses selanjutnya adalah pengadaan bahan dan instalasi perangkat mekanik, berupa *line scanner* untuk gerakan horisontal (maju dan mundur) serta gerakan vertikal (naik dan turun). Instalasi dan pengkabelan perangkat kontrol dapat dilakukan secara paralel dengan instalasi perangkat mekanik. Integrasi perangkat lunak dilakukan setelah perangkat *line scanner* dan perangkat kontrol dihubungkan, termasuk dengan *motor stepper* dan perangkat sensor dan *switch interlock*. Langkah selanjutnya adalah memasukan program proses kontrol ke mikrokontroler sebagai komponen utama perangkat kontrol. Pengujian dilakukan dengan memverifikasi setiap menu perintah yang dibuat terhadap gerakan vertikal dan horisontal, untuk mengecek kesesuaian gerakan dengan perintah yang diberikan. Pengukuran translasi gerakan dilakukan untuk memastikan perintah sudah sesuai dan tidak terjadi pergeseran yang lebih besar dari 1 mm untuk setiap translasi jarak 50 mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada rancang bangun modul kontrol pemindai ini antara lain adalah toolset elektronik, berisikan aneka obeng dan tang, solder, dan kelengkapan untuk mematri serta instalasi komponen elektronik. *Digital multimeter*, *osilloscope*, sebagai alat ukur untuk melakukan pengujian dan mengamati pulsa. *Fuction generator* sebagai perangkat simulasi pembangkit pulsa untuk memberikan signal ke gerakan *motor stepper*, sebagai aktuasi modul kontrol yang menggerakkan perangkat mekanik pemindai. Peralatan lainnya adalah perangkat komputer minimal dengan sistem operasi Microsoft Windows 7 yang digunakan sebagai perangkat untuk

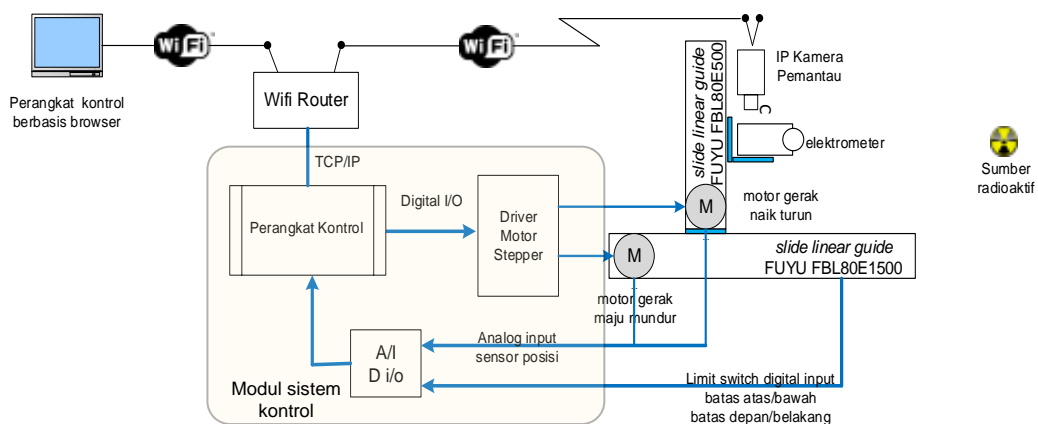
pemrograman. Komputer yang digunakan harus diinstal perangkat lunak Sketch versi 1.8.9, untuk dapat melakukan pemrograman mikrokontroler berbasis Arduino. Komputer selain digunakan sebagai perangkat pemrograman digunakan sebagai akses antar muka tampilan kontrol dengan aplikasi peramban.

Bahan utama perancangan modul kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi, terdiri dari modul mikrokontroler ATmega 2560, modul catu daya 12 V, modul komunikasi *ethernet shield* dengan *chip set* WIZNet W5100, dengan protokol komunikasi TCP/IP. Modul driver *motor stepper* Fuyu FMDT220A48NOM, merupakan pasangan untuk penggerak *motor stepper* pada *slide linear guide* FUYU FBL80E1500 dan *slide linear guide* FUYU FBL80E500. Modul relay yang digunakan untuk melakukan pemindahan signal antara motor penggerak horisontal FUYU FBL80E1500 atau motor penggerak vertikal FUYU FBL80E500. Bahan tambahan seperti konektor CB, konektor catu daya 220, *switch on/off*, lampu LED sebagai lampu indikator, potensio jenis *ternturn* sebagai sensor posisi, *switch on/off* sebagai indikator tombol pembatas batas atas dan batas bawah untuk translasi vertikal serta indikator batas depan dan belakang untuk indikator translasi pergerakan horisontal.

Bahan pendukung untuk kelengkapan seperti modul komunikasi Wifi *router* TP Link WR 480N, dengan adaptornya dan kabel jaringan RJ-45, sebagai penghubung komunikasi antara komputer dengan modul perangkat kontrol pemindai. *IP Camera* TP-LINK seri TL-SC4171g digunakan untuk melakukan pembacaan perangkat elektrometer, yang akan mengukur paparan radiasi dari sumber yang dikalibrasi.

3.2. Rancangan Sistem

Sistem pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi, terdiri dari tiga bagian utama antara lain; bagian pertama adalah modul elektrometer, yang berfungsi sebagai peralatan pengukur paparan dosis radiasi. Bagian kedua adalah mekanik pemindai, yang berfungsi mentranslasikan gerakan maju mundur dan naik turun. Pada bagian mekanik ini terdapat motor *stepper* untuk menggerakkan pemindai yang akan menggerakkan elektrometer. Bagian ketiga adalah modul sistem kontrol kontrol. Modul ini terdiri dari perangkat kontrol yang di dalamnya menggunakan komponen mikrokontroler, modul komunikasi *ethernet* dengan *chipset* WIZnet W5100, modul relay, modul catu daya, dan Wifi Router, sebagai perangkat komunikasi kontrol ke komputer, atau perangkat lainnya. IP Kamera pemantau berfungsi sebagai perangkat untuk melihat besaran paparan radiasi yang ditampilkan pada elektrometer. Gambar 1, menjelaskan blok diagram sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi.




Gambar 1. Blok diagram sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi

Dengan komponen *switch hub Wifi router* perangkat pemindai 1D ini dapat dikendalikan dengan komunikasi tanpa kabel (Wifi) atau menggunakan perantara kabel UTP RJ 45. IP kamera merupakan kamera dengan komunikasi menggunakan TCP/IP, kamera ini dapat memanfaatkan komunikasi yang disediakan melalui *switch hub Wifi router*, sehingga dapat dihubungkan ke aplikasi di komputer perangkat kontrol dengan atau tanpa kabel. Pada makalah rancang bangun ini digunakan kamera *IP Camera TP-LINK* seri TL-SC4171g. Gambar 1, menjelaskan blok diagram sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi. Komputer sebagai perangkat kontrol menggunakan aplikasi peramban, seperti *Mozilla Firefox, Google Chrome, Safari,* atau *Microsoft Explorer, Microsoft Edge* atau program aplikasi peramban lainnya. Perangkat komputer dapat digantikan dengan perangkat lain seperti *smart phone*, atau perangkat sejenis lainnya dengan tersedianya fitur komunikasi Wifi dan terpasang aplikasi peramban, untuk akses ke perangkat kontrol.

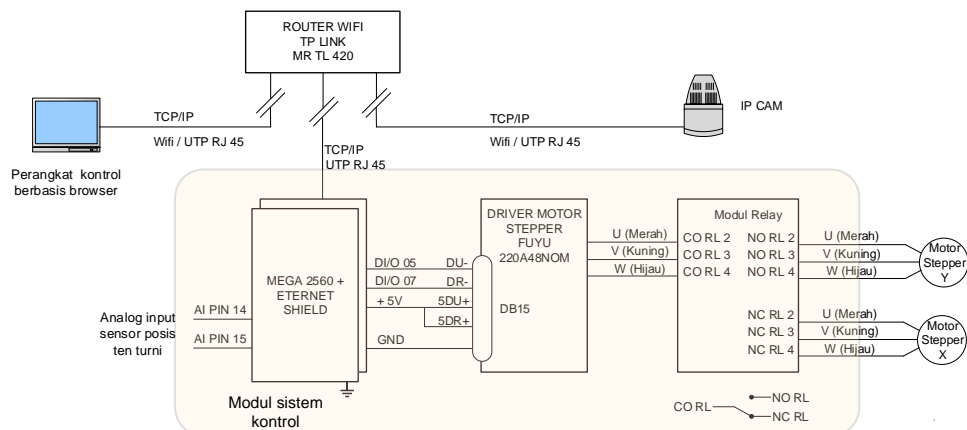
Aktuasi modul sistem kontrol berupa dua buah *slide linier guide* yaitu FUYU FBL80E1500, untuk panjang translasi pemindaian 150 cm gerak maju mundur, dan FBL80E500, untuk translasi pemindaian sepanjang 50 cm, gerak naik turun. Spesifikasi *slide linier guide* ditampilkan seperti pada Tabel 1., dan Tabel 2 menampilkan spesifikasi *stepper motor driver slide linier guide* FUYU FBL80E.

Tabel 1. Spesifikasi *slide linier guide* FUYU FBL80E [9]

Motor Holding torque	5
Synchronous wheel circumference	165
Max Horizontal Loading / Max Vertical Loading	30 / 5
Withouth Loading Speed (mm/s)	3000
Max Horizontal Full Speed (mm/s)	1700
Max Vertical Full Speed (mm/s ²)	650
Rated Acceleration / Position Accuracy	1000 / 0,1
Maximum thrust / Movement Life	55 / 20.000
Dinamic permesible torque MA = 45 MB = 35 MC =35	

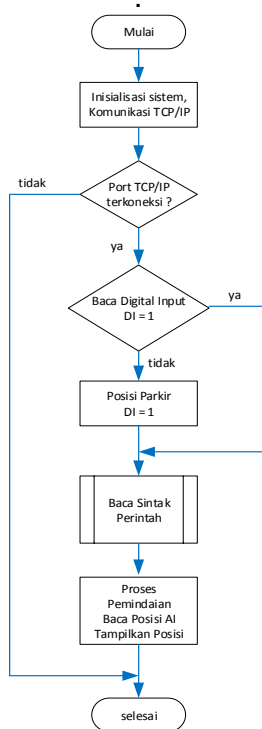
Tabel 2. Spesifikasi *stepper motor driver slide linier guide* FUYU FBL80E [10]

Item	FMDT220A48NOM stepper motor driver	Brand	FUYU
Max output current	4.8A	Power supply	AC110-220V
Current setting	16 channel	Subdivision setting	16 channel
Highest resolution	60.000 step/circle	Size	178 x 108 x 72mm
Highest response	200 Kpps	Matched Motor	57-110mm 3-phase stepper motor



Gambar 2. Koneksi modul sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi

Perangkat kontrol terdiri dari modul mikrokontroler, modul komunikasi *Ethernet*, modul *screw terminal*, modul relay, modul catu daya 12 V DC. Modul mikrokontroler menggunakan Arduino Mega yang berbasis pada ATmega 2560. Modul komunikasi *Ethernet Shield* dengan menggunakan *chipset* Wiznet W5100 berfungsi untuk menghubungkan modul mikrokontroler dengan komputer melalui protokol komunikasi TCP/IP. Modul *screw terminal* berfungsi untuk memudahkan instalasi, menghubungkan antara modul mikrokontroler dengan *driver motor stepper*, modul relay, dan *input output* lainnya. Modul catu daya 12 V DC berfungsi untuk mencukupi kebutuhan catu daya perangkat kontrol. Detail konfigurasi dan koneksi sistem kontrol pemindai diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 3. Diagram alir program yang ditanamkan pada mikrokontroler

Mikrokontroler ATmega 2560 ditanamkan program perangkat lunak yang digunakan sebagai perangkat lunak sistem yang akan menterjemahkan perintah dari antarmuka ke aktuasi pergerakan motor stepper pemindai 1D. Program ditulis dalam bahasa pemrograman menggunakan Arduino IDE Sketch versi 1.8.9. Program dapat yang ditanamkan pada modul ATmega 2560 ini memungkinkan dapat diakses dengan program aplikasi peramban, sebagai antar muka antara operator dengan pemindai 1D.

Penggalan *Listing Program* 1. di bawah menampilkan inisialisasi pada program yang ditanamkan di modul ATmega 2560. Blok diagram alir program yang ditanamkan pada mikrokontroler AT Mega 2560 yang digunakan pada sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi diperlihatkan pada Gambar 3. Ketika modul sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi dihidupkan, perangkat akan melakukan inisiasi dengan perangkat komunikasi TCP/IP, bila tidak tersedia atau sistem tidak mengenali koneksi, program akan diakhiri.

Bila sistem dapat menginisiasi sistem komunikasi program akan melanjutkan dengan pembacaan digital dari *limit switch* untuk posisi paling belakang untuk gerakan horisontal dan posisi paling bawah untuk gerakan vertikal. Bila terbaca posisi (*high* atau logika 1) sistem akan dilanjutkan pembacaan perintah dari yang dikirimkan dari komputer kontrol yang sudah terhubung melalui jaringan TCP/IP. Bila salah satu *limit switch* terbaca pada posisi (*low* atau logika 0), maka program akan memerintahkan motor bergeser ke belakang untuk gerakan vertikal sampai sampai *limit switch* mengirim sinyal *high*. Demikian halnya untuk gerakan vertikal, bila status pembacaan dalam posisi (*low* atau logika 0), maka program akan memerintahkan *motor stepper* untuk bergerak turun sampai mengaktifkan *limit switch* menjadi posisi *high*. Setelah kondisi ini tercapai program akan menunggu perintah selanjutnya dari operator. Perintah yang disediakan pada tampilan antar muka dilayar komputer sebagai perangkat kontrol dengan membuka menggunakan aplikasi berbasis peramban.

Perintah yang ditampilkan berupa tampilan tombol-tombol yang akan aktif bila tampilan tombol tersebut dilakukan eksekusi dengan menekan atau "klik" tombol virtual tersebut. Pada kenyataannya, dengan mengaktifkan tombol virtual tersebut *syntak* perintah telah dikirimkan dari komputer untuk memerintahkan *motor stepper* untuk berputar menggerakkan *slide linier guide*, sehingga bergeser sejauh jarak tertentu

sesuai dengan tombol virtual yang dipilih. Prosedur perintah yang dijalankan adalah sebagai berikut:

Prosedur untuk Geser Naik 1 cm

No	Syntax	PIN	status	Keterangan
1	pin_ganti_driver_pakai_relay	8	0	Pilih driver utk motor naik dan turun, Posisi low driver terhubung ke motor utk naik dan turun, Lampu putih on, Panggil void, pilih_motor_munggah_mudun
2	pin_balik_putaran_motor_stepper	7	1	Pilih arah putaran, Panggil void, muter_cw
3	pin_pulsa_ke_motor_stepper	5	pulsa	Bangkitkan pulsa, Panggil void pulsa_motor_stepper_munggah_mudun_maju_mundur

Untuk geser Naik 5 cm dan 10 cm, perintah no 3 di ulang 5 x dan 10 x

Prosedur untuk Geser Turun 1 cm

No	Syntax	PIN	status	Keterangan
1	pin_ganti_driver_pakai_relay	8	0	Pilih driver utk motor naik dan turun, Posisi low driver terhubung ke motor utk naik dan turun, Lampu putih on, Panggil void, pilih_motor_munggah_mudun
2	pin_balik_putaran_motor_stepper	7	0	Pilih arah putaran, Panggil void, muter_ccw
3	pin_pulsa_ke_motor_stepper	5	pulsa	Bangkitkan pulsa, Panggil void, pulsa_motor_stepper_munggah_mudun_maju_mundur_1

Untuk geser Turun 5 cm dan 10 cm, perintah no 3 di ulang 5 x dan 10 x

Prosedur untuk Geser Maju 1 cm

No	Syntax	PIN	status	Keterangan
1	pin_ganti_driver_pakai_relay	8	1	Pilih driver utk motor naik dan turun, Posisi high driver terhubung ke motor utk naik dan turun, Lampu putih on, Panggil void, pilih_motor_maju_mundur
2	pin_balik_putaran_motor_stepper	7	1	Pilih arah putaran, Panggil void, muter_cw
3	pin_pulsa_ke_motor_stepper	5	pulsa	Bangkitkan pulsa, Panggil void pulsa_motor_stepper_munggah_mudun_maju_mundur_1

Untuk geser Maju 5 cm dan 10 cm, perintah no 3 di ulang 5 x dan 10 x

Geser untuk Mundur 1 cm

No	Syntax	PIN	status	Keterangan
1	pin_ganti_driver_pakai_relay	8	1	Pilih driver utk motor naik dan turun, Posisi high driver terhubung ke motor utk naik dan turun, Lampu putih on, Panggil void, pilih_motor_maju_mundur
2	pin_balik_putaran_motor_stepper	7	0	Pilih arah putaran, Panggil void, muter_ccw
3	pin_pulsa_ke_motor_stepper	5	pulsa	Bangkitkan pulsa, Panggil void, pulsa_motor_stepper_munggah_mudun_maju_mundur_1

Untuk geser Mundur 5 cm dan 10 cm, perintah no 3 di ulang 5 x dan 10 x

Prosedur untuk Perintah ||

No	Syntax	PIN	status	Keterangan
1	pin_ganti_driver_pakai_relay	8	1	Pilih driver utk motor maju mundur, Posisi high driver terhubung ke motor utk naik dan turun, Lampu putih on, Panggil void, pilih_motor_maju_mundur

Prosedur untuk Perintah <>

No	Syntax	PIN	status	Keterangan
1	pin_ganti_driver_pakai_relay	8	0	Pilih driver utk motor naik dan turun, Posisi low driver terhubung ke motor utk naik dan turun, Lampu putih on, Panggil void, pilih_motor_munggah_mudun

Prosedur untuk Perintah Naik

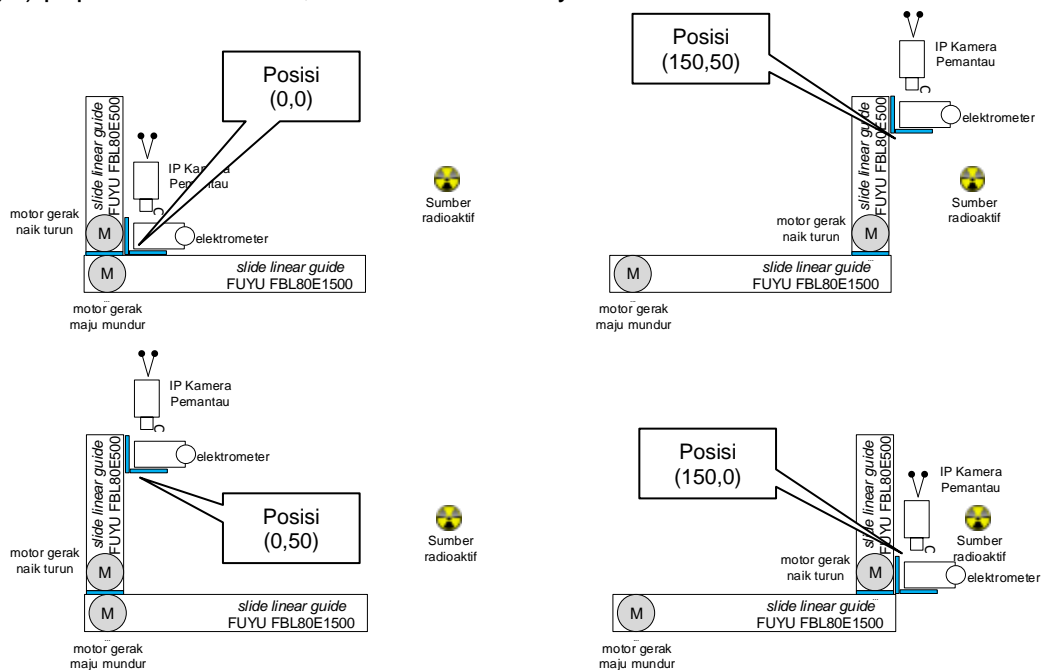
1	pin_balik_putaran_motor_stepper	7	1	Pilih arah putaran, Panggil void, muter_cw
---	---------------------------------	---	---	--

Prosedur untuk Perintah Turun

1	pin_balik_putaran_motor_stepper	7	0	Pilih arah putaran, Panggil void, muter_ccw
---	---------------------------------	---	---	---

Dalam perancangan antar muka, disediakan pilihan pergerakan pemindaian secara manual dan pemindaian secara mandiri (otomatis), yaitu dengan sekali menekan tombol virtual [*Auto Scan*], perintah pemindaian akan dilakukan. Pergerakan pemindaian pada perintah ini adalah, *motor stepper* akan melakukan pergerakan dari posisi paling belakang (posisi paling jauh dari sumber yang dikalibrasi), dan posisi paling bawah. Posisi ini sebagai referensi titik (0,0) dimana sensor *limit switch* posisi horisontal dan vertikal terbaca *high*. Pergerakan secara otomatis akan dimulai dengan

menggeser naik setiap jarak kenaikan 5 cm sampai sejauh 50 cm, sebagai posisi paling tinggi, dengan jeda 15 detik setiap kenaikan 5 cm, untuk memberi kesempatan elektrometer membaca paparan radiasi dari sumber radioaktif yang dikalibrasi. Setelah bergeser sampai posisi vertikal 50 cm, *motor stepper slide linier guide*, vertikal diperintahkan bergerak turun sejauh 50 cm, sampai posisi sensor *limit switch* posisi horisontal dan vertikal terbaca *high* kembali (0,0). Pergerakan selanjutnya adalah motor stepper *motor stepper slide linier guide*, horisontal diperintahkan bergerak maju sejauh 5 cm, dan kembali *motor stepper slide linier guide*, vertikal diperintahkan bergerak naik sejauh 5 cm, berhenti 15 detik, dan seterusnya sampai tinggi 50 cm, kembali turun ke posisi (5,0). Posisi (5,0) adalah elektrometer berada pada 5 cm dari posisi paling belakang, dengan ketinggian 0 cm. Pemindaian dengan perintah tombol virtual [Auto Scan] ini sehingga pergerakan sampai pada posisi (150,50) posisi dimana elektrometer berada pada 150 dari dari belakang dan pada ketinggian 50 cm. Gambar 4. menjelaskan posisi elektrometer ini. Nilai paparan radiasi yang ditampilkan elektrometer dicatat secara manual, atau dalam beberapa perangkat elektrometer kekinian nilai ini dapat disimpan di memory perangkat berupa file. File ini selanjutnya dapat digabung dengan data bacaan ordinat perangkat, sehingga setelah digabungkan data akan dapat terbaca misalnya pada posisi (x1,y1) paparan sebesar z1, posisi (x2, y2) paparan sebesar z2, demikian seterusnya.



Gambar 4. Sistem ordinat (x,y) untuk posisi elektrometer pada pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi

Tombol virtual [RESET] digunakan bila terjadi kedaruratan atau membatalkan perintah yang sebelumnya dikirim. Tombol akan bila diaktifkan akan melakukan interupsi terhadap perintah yang dijalankan, dan memposisikan kedudukan elektrometer pada posisi (0,0), dengan *motor stepper* berputar menggeser *slide linier* vertikal turun sampai terbaca *limit switch* kondisi (*high*) dan *motor stepper* penggerak *slide linier* horisontal, mundur sampai *limit switch* horisontal kondisi (*high*).

Tampilan antarmuka sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi dapat diakses dengan aplikasi peramban dengan memasukkan *IP Address* 192.168.0.177. Akses ke kamera pemantau untuk membaca hasil pengukuran elektrometer sudah termasuk satu aplikasi di sistem modul sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi. Penggalan program di bawah menjelaskan

inisiasi dan penentuan untuk *IP Address* dan *MAC Address* perangkat kontrol. *Listing* programnya sebagai berikut :

Listing Program 1. Inisialisasi

```
//=====
#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>
int analog_inp_posisi_x = 14;           // tenturn maju mundur
float posisi_x = 0;                    //
int analog_inp_posisi_y = 15;         // tenturn naik turun
float posisi_y = 0;                    //
char c = 0;                            // received data
char command[2] = "\0";               // command
int pin_limit_switch_fully_down = 2;
int pin_limit_switch_fully_back = 3;
int pin_pulsa_ke_motor_stepper = 5;
int pin_pulsa_ke_motor_stepper_maju_mundur = 6; // spare utk 3d 3 axis mtr stp
int pin_balik_putaran_motor_stepper= 7;
int pin_ganti_driver_pakai_relay = 8;
int pin_tes_pin_led = 9;
float duration, cm;
byte mac[] = { 0xDE,0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED }; // set physical mac addr
byte ip[] = { 192, 168, 0, 177 }; // set ip addr ("192.168.0.177")
byte gateway[] = { 192, 168, 0, 1 }; // set gateway router
byte subnet[] = { 255, 255, 255, 0 }; // subnet mask
EthernetServer server(80); // server port 80
String readString;
//=====
```

Akses tampilan antar muka untuk melakukan perintah dengan pembacaan elektrometer melalui IP kamera dijadikan satu. Dengan mengintegrasikan satu aplikasi akses yaitu akses IP kamera ke dalam perangkat sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi, akan memudahkan dalam pengoperasian dan pemantauan. Penggalan *listing* program untuk akses ke IP Kamera sebagai pemantau ditampilkan pada *listing* Program 2.:

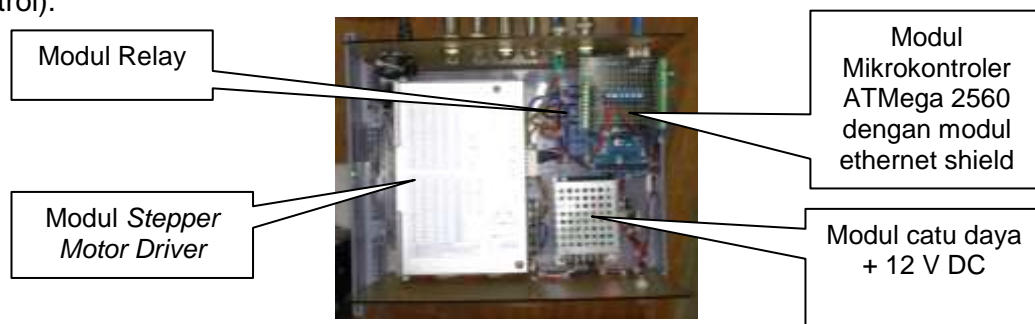
Listing Program 2. Inisialisasi integrasi IP Kamera dalam satu aplikasi

```
// -----
// ipcam 01
client.println(" <tr height = \"600px\" > ");
client.println(" <th width = \"850px\"> <br /> <iframe src=\"http://192.168.0.123 \"
height=\"600\" width=\"100%\"> </iframe> </th>  ");
client.println(" </br> ");
// -----
```



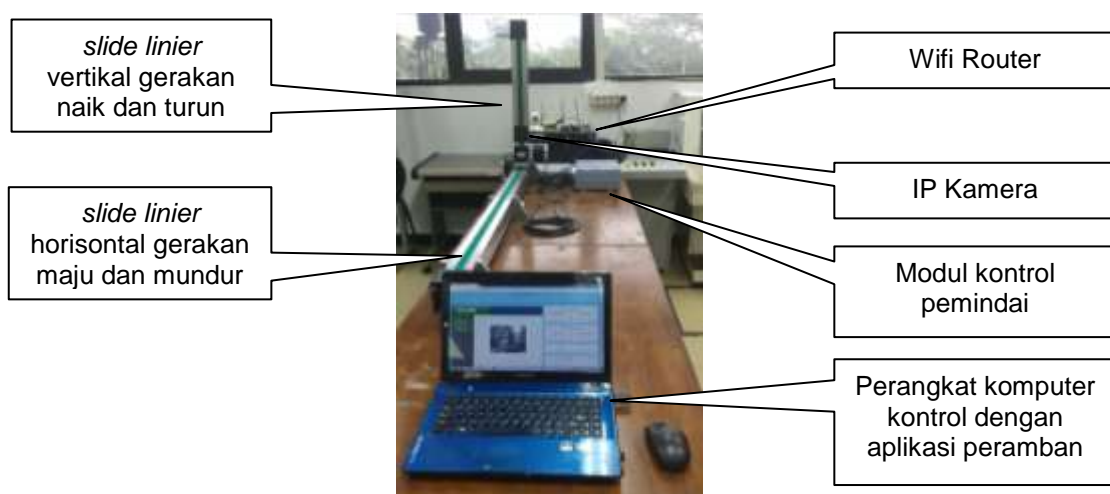
Gambar 4. *Print screen* antar muka perintah pada sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi

Notifikasi dan informasi posisi elektrometer ditampilkan pada antar muka program kontrol. Notifikasi posisi ini dikirim dari pembacaan sensor posisi (*ten turn*), berupa signal analog, antara 0 sampai 5 volt. Inisiasi pada program ditampilkan pada Listing Program 1, dan detail koneksi pengkabelan ditampilkan seperti pada gambar 2. Seperti pada Gambar 4. *print screen* tampilan di komputer kontrol dengan menggunakan peramban Google Chrome. Tampilan IP kamera menangkap layar hasil bacaan dari elektrometer. Pada jenis dan seri elektrometer yang paling baru terdapat fasilitas penyimpanan rekaman data pengukuran. Dengan fitur ini operator dapat dengan lebih cepat mengintegrasikan dan *plot* data pengukuran. Pada elektrometer yang keluaran lebih lama fitur penyimpanan data pengukuran belum tentu ada, sehingga operator harus melakukan pencatatan atau entri data. Data yang dicatat biasanya posisi elektrometer (dibaca dari tampilan antar muka pada sistem kontrol).



Gambar 5. Modul kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi

Gambar 5. menampilkan komponen utama perangkat keras modul pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi. Komponen utama seperti modul mikrokontroler ATmega 2560 dengan modul *ethernet shield*, modul *relay*, modul *motor stepper* dan modul catu daya +12 V DC. Komponen utama perangkat kontrol ini telah diintegrasikan dengan perangkat lunak yang tampilannya seperti pada Gambar 4. Keseluruhan sistem ditunjukkan seperti pada Gambar 6. Pada pemakain yang sebenarnya perangkat komputer kontrol ditempatkan berbeda ruangan dengan sistem kalibrasi. Sistem kalibrasi berada pada ruangan khusus karena penggunaan sumber radioaktif untuk perangkat brakhiterapi yang akan dikalibrasi. Modul *relay* digunakan untuk *switch* pulsa dari driver yang akan dikirimkan ke motor *stepper*. Dengan penggunaan modul *relay*, *driver motor stepper* yang diperlukan hanya satu untuk menggerakkan 2 buah motor *stepper* secara bergantian.




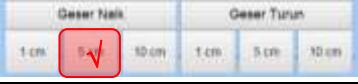


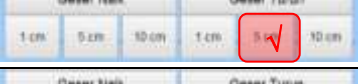
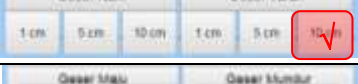
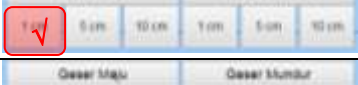

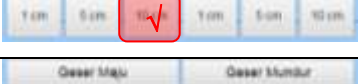
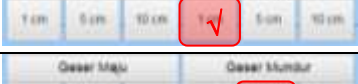

Gambar 6. Sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi dengan kelengkapannya.

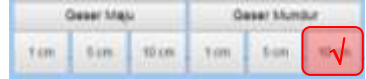


Pengujian dilakukan untuk melakukan verifikasi yang memastikan bahwa tombol virtual perintah setelah dijalankan dapat direspon sesuai dengan perintah yang telah ditentukan. Data hasil pengujian tombol utama diperlihatkan pada Tabel 3. Sedangkan data hasil pengujian fungsi tombol tambahan diperlihatkan pada Tabel 4. Terdapat perbedaan perintah pada tombol utama dan tombol tambahan yaitu adanya aktuasi gerakan pergeseran tanpa ada jeda. Pada perintah utama setelah geser ada jeda (*delay* 15 detik) untuk memberikan kesempatan elektrometer melakukan pengukuran paparan radiasi. Pada tombol tambahan ini terdapat test pin untuk melakukan cek modul tanpa aktuasi gerakan *slide linier guide*. Tampilan antar muka seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

3.3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian ditabelkan seperti pada Tabel 3. dan Tabel 4. Perintah menu dipilih dari komputer kontrol. Pengujian yang dilakukan adalah memverifikasi seluruh perintah yang ditampilkan pada antar muka di perangkat komputer kontrol. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa seluruh menu perintah yang ditampilkan pada antar muka di perangkat komputer kontrol telah berfungsi sesuai rencana. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa seluruh menu perintah yang ditampilkan pada antar muka di perangkat komputer kontrol telah berfungsi sesuai rencana.

Tabel 3. Data hasil pengujian tombol utama

Tombol Virtual	Aksi/Respon	Kerangan
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser naik sejauh 1 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser naik sejauh 5 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser naik sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser turun sejauh 1 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser turun sejauh 5 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser turun sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser maju sejauh 1 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser maju sejauh 5 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser maju sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser mundur sejauh 1 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser mundur sejauh 5 cm	Respon sesuai

	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser mundur sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Melakukan gerak pemindaian secara otomatis	Respon sesuai
	Mengembalikan elektrometer ke posisi pemindaian (0,0), paling belakang paling bawah.	Respon sesuai

Tabel 4. Data hasil pengujian tombol Tambahan

Tombol Virtual	Aksi/Respon	Kerangan
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Naik sejauh 5 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Naik sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Turun sejauh 5 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Turun sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Test pin dengan aktuasi menyalakan led pada panel kotak modul	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Maju sejauh 5 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Maju sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Mundur sejauh 5 cm	Respon sesuai
	Motor menggerakkan <i>slider</i> sehingga bergeser Mundur sejauh 10 cm	Respon sesuai
	Test pin dengan aktuasi mematikan led pada panel kotak modul	Respon sesuai

Keterangan :  : Virtual tombol yang dipilih (di-"klik")

Dari pengujian fungsi tombol virtual, tombol yang di-"klik" dapat berfungsi menjalankan perintah dengan aktuasi sesuai dengan yang ditetapkan. Pada pengujian tidak mengintegrasikan elektrometer dan sumber radiasi, hal ini dikarenakan perangkat elektrometer dan ruangan untuk pengujian tidak tersedia. Dalam perancangan ini belum disiapkan integrasi data hasil pengukuran dengan data posisi elektrometer. Perangkat ini cocok dikombinasikan dengan elektrometer dengan pembacaan manual, atau yang sudah tersedia fasilitas *data logger*. Pada penggunaan elektrometer dengan pembacaan manual data pengukuran dibaca melalui IP Kamera, dan dientri ke file tabel yang sudah disiapkan operator. Data posisi disiapkan sebelumnya sehingga operator tinggal melakukan entri data. Dengan kondisi pencatatan yang dilakukan

secara manual ini, waktu yang digunakan relatif lebih lama dibandingkan dengan menggunakan elektrometer dengan fasilitas *data logger*.

Pemakaian elektrometer dengan fasilitas *data logger* akan lebih cepat dengan memanfaatkan tombol [*Auto Scan*], sehingga operator hanya sekali melakukan perintah, dengan sendirinya sistem akan melakukan gerakan pemindaian, dengan jarak gap (*grid*) perpindahan 5 cm. Hal yang perlu dicatat operator saat dilakukan pemindaian mode ini adalah waktu awal saat tombol diaktifkan. Referensi waktu yang digunakan adalah waktu yang digunakan oleh komputer kontrol setelah dilakukan kalibrasi dengan waktu yang ada di elektrometer. Hal ini dilakukan untuk menyamakan data waktu versus posisi (x,y) dengan waktu versus paparan radiasi. Data ini diperlukan untuk mengintegrasikan data posisi dan data pengukuran paparan radiasi pembacaan elektrometer.

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan perakayasaan perangkat modul sistem kontrol pemindai 1D untuk kalibrasi perangkat brakhiterapi, yang berfungsi untuk melakukan pemetakan paparan sumber radiasi yang digunakan pada perangkat brakhiterapi. Hasil pengujian menunjukkan perangkat dapat melakukan gerakan pemindaian sesuai dengan posisi yang telah ditetapkan. Pengujian dilakukan tanpa menggunakan sumber radioaktif dan elektrometer. Modul sistem kontrol dilengkapi dengan kamera untuk dapat melihat nilai pengukuran yang ditampilkan oleh elektrometer. Dengan fasilitas ini pemakaian elektrometer yang tidak terdapat fitur *data logger*-nya masih dapat digunakan dengan mencatat data secara manual. Pemanfaatan komunikasi antara komputer kontrol dengan modul kontrol menggunakan protokol komunikasi TCP/IP, dengan kabel UTP atau dengan tanpa kabel melalui komunikasi Wifi. Dengan menggunakan komunikasi ini operator dapat mengoperasikan dari ruangan lain yang jaraknya relatif jauh, sehingga lebih aman dari paparan radioaktif brakhiterapi yang dikalibrasi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bondan Dwisetyo, "Penentuan Fungsi Geometri dan Fungsi Anisotropi pada Sumber Brakhiterapi Menggunakan Microselectron HDR Ir-192", Skripsi, Fakultas MIPA Universitas Indonesia, 2010.
- [2]. UU No 10 tahun 1997, tentang Ketenaganukliran
- [3]. C.Deehan and Jao Donoghue, "Biological Equivalence of LDR and HDR Brakhiterapy from Radium to Optimization", Nucletron International B, 1994
- [4]. Peraturan Pemerintah No 29 TAHUN 2008, tentang perijinan pemanfaatan sumber radiasi pengion dan bahan nuklir.
- [5]. Peraturan Pemerintah No 33 TAHUN 2007, keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif.
- [6]. Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013, tentang keselamatan radiasi dalam penggunaan radioterapi.
- [7]. Nazaroh, "Standardisasi / Kalibrasi sumber-sumber brakhiterapi: prosedur standardisasi untuk kalibrasi sumber-sumber brakhiterapi pada laboratorium dosimetri standar sekunder (SSDL) dan rumah sakit", JURNAL STANDARDISASI Vol 7, No 2, Badan Standardisasi Nasional, 2005.
- [8]. https://www.sunuclear.com/uploads/documents/datasheets/PCElectrometer_061220.pdf , diakses, 02 Desember 2019, Data Sheet Elektrometer
- [9]. <https://www.fuyumotion.com/uploads/d96295f1.pdf> , diakses 29 September 2020, Data Sheet linier.
- [10]. <https://www.fuyumotion.com/stepper-motor-driver.html> , diakses 29 September 2020, Data Sheet driver motor stepper.