

PERANCANGAN KONTROL MEJA SAMPLE UNTUK MENGAMBIL GAMBAR PADA MODUL PENANGKAP CITRA RADIOSKOPI INDUSTRI

Ikhsan Shobari, Indarzah Masbatin Putra, Demon Handoyo
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir – BATAN, Gedung 71, Lantai 2, Kawasan
Puspipstek, Serpong, Tangerang Selatan, Banten. 15310.
e-mail : ishobary@batan.go.id

ABSTRAK

PERANCANGAN KONTROL MEJA SAMPLE UNTUK MENGAMBIL GAMBAR PADA MODUL PENANGKAP CITRA RADIOSKOPI INDUSTRI. Meja sample pada modul penangkap citra radioskopi industri berfungsi untuk meletakkan obyek benda yang akan diambil citranya. Proses pengambilan citra, obyek diputar 360 derajat dan setiap derajat tertentu dilakukan pengambilan gambar. Pergerakan putaran obyek dilakukan dari jarak jauh menggunakan protokol komunikasi TCP/IP. Dua buah motor stepper digunakan untuk menggerakkan putaran meja sample, dan pergeseran meja sample ke kanan dan ke kiri. Kamera pemantau digunakan untuk mengetahui kondisi pergerakan meja sample dan proses pengambilan citra. Program aplikasi browser seperti Internet Explorer, Mozilla Firefox, Safari, Google Chrome, atau aplikasi browser lainnya digunakan sebagai antar muka untuk mengendalikan gerakan meja sample. Hasil pengujian menunjukkan nilai simpangan (delay) waktu terbesar yang digunakan untuk putaran meja 0,04 dt (20 %) pada putaran 1 derajat.

Kata kunci: radioskopi_industri, kendali_jauh, motor_stepper

ABSTRACT

A DESIGN OF CONTROL TABLE SAMPLE FOR CAPTURING PICTURES IN THE INDUSTRIAL MODULE IMAGE CAPTURE RADIOSKOPI. Table sample in image capture module industry radioskopi serves to put an object to be taken its image. In the process of taking the image, the object is rotated 360 degrees and an image is taken in every particular degree. The rotation controlling of the table is implemented remotely wirelessly by using a communication protocol TCP / IP. Two stepper motors are used to drive the rotation of the table by shifting to the right and to the left. The monitoring camera is used to monitor the movement of the table and the process of the images to be taken. The program application such as Internet Explorer, Mozilla Firefox, Safari, Google Chrome, or other browser applications are used to control the movement of the table sample. The results of the testing show that the largest time deviation to be used for 1 degree rotation of the table is 0.04 second (20%) at 1 degree of rotation.

Keywords: radioskopi_industry, remote_control, stepper_motors

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur membutuhkan jaminan kualitas untuk menguji hasil produksinya. Pengujian dilakukan dengan metoda uji merusak dan atau uji tak merusak. Uji merusak dilakukan secara acak dengan metoda sampling. Uji tak merusak dapat dilakukan untuk seluruh hasil produksi yang dikeluarkan. Salah satu uji tak merusak adalah dengan melakukan inspeksi visual. Keterbatasan pengujian yang dilakukan dengan visual adalah bagian permukaan saja dapat diperkirakan terdapat cacat dan retak, untuk bagian dalam akan sangat sulit dilakukan. Teknik radiografi telah banyak digunakan untuk uji tak merusak, terutama untuk inspeksi sambungan las, cacat pada hasil cetakan dan pengecoran, cacat karena tekanan dan keausan, penuaan (*aging*). Teknik radiografi memanfaatkan sumber radioaktif pemancar gamma misalnya Ir 192, Cs 137 atau Co 60, atau dengan memanfaatkan pesawat sinar-X^{[1][2][3]}. Teknik radiografi

konvensional dilakukan dengan menggunakan film sehingga memiliki banyak keterbatasan seperti pemrosesan film lama dan membutuhkan zat-zat kimia yang tidak ramah lingkungan. Disamping itu proses analisis radiografi dengan menggunakan film sangat terbatas, mengingat kemampuan mata manusia yang spektrumnya terbatas^[4].

Perkembangan teknologi saat ini memungkinkan pemakaian dan penggunaan film konvensional digantikan dengan perangkat dan metoda lain misalnya dengan penggunaan CR (*Computer Radiography*). Gambar yang ditangkap selanjutnya dipindai dengan menggunakan *scanner* khusus menjadi data digital. Pemakaian *imaging plate* sangat terbatas, biasanya berkisar antara 1000 kali pemakaian. Metoda lain adalah menggunakan IDR (*Indirect Digital Radiography*) dan DDR (*Direct Digital Radiography*). Metoda IDR menggunakan *luminescent screen sensitive to X-rays* yang dipasang pada sebuah *intensifier* dimana citra yang dihasilkan kemudian ditangkap dengan menggunakan kamera CCD. Teknik DDR merupakan teknologi termutakhir dimana citra digital langsung diperoleh dengan menggunakan *photo conductor*, metode sintilasi atau dengan detektor CMOS^[4].

Jaminan kualitas dalam suatu industri terutama industri manufaktur logam seperti pembuatan blok mesin, pengecoran logam untuk komponen penting, sambungan pipa atau tabung bertekanan, memerlukan jaminan kualitas yang ketat. Salah satu metoda jaminan kualitas adalah dengan mengambil citra dari objek dengan menggunakan berkas sinar-X yang mengenai layar pendar. Citra yang dihasilkan dari modul penangkap yang berpendar karena terpapar sinar-X, merupakan bentuk citra 2 dimensi. Untuk menghasilkan bentuk citra 3 dimensi maka dilakukan rekonstruksi dari banyak citra yang dihasilkan dari bentuk citra 2 dimensi. Makalah ini menampilkan bagian dari cara pengambilan gambar citra dari obyek yang dihasilkan dari berkas sinar-X yang mengenai layar pendar. Metoda yang digunakan adalah obyek diputar 360⁰, dan dalam setiap derajat tertentu diambil gambar citra. Rekontruksi gambar citra, pembuatan program aplikasi dan *user interface*-nya dikerjakan oleh tim lain. Pembahasan disini adalah pengendalian meja putar yang akan digunakan untuk menempatkan obyek secara presisi dalam setiap derajat tertentu. Perbedaan dari sistem yang sudah ada yaitu: Meja hanya dapat diputar dan putaran kurang presisi karena masih terjadi slip mekanik^[4]. Komunikasi menggunakan kabel secara serial^[5]. Meja objek yang statis^[6].

Pada makalah ini disampaikan penambahan antara lain meja putar selain dapat diputar juga dapat digeser secara horisontal searah sumbu x. Motor *stepper* digunakan sebagai penggerak putaran meja putar, dan menggeser meja putar, sehingga pergerakan lebih presisi. Pengendalian dilakukan dari jarak yang relatif jauh dan memungkinkan dilakukan secara nirkabel, dengan menggunakan protokol komunikasi TCP/IP (*Transmission Control Protocol (TCP) / Internet Protocol*). Pengujian keseluruhan sistem yang terintegrasi dengan perangkat sinar-X belum dilakukan, dikarenakan beberapa perangkat belum tersedia, seperti perangkat sinar-X kontinyu, beserta lab dan pendukungnya.

Sub sistem ini akan dintegrasikan sehingga membentuk modul perangkat keras penangkap citra radioskopi untuk industri, manufaktur dan modul perangkat lunak akuisisi dan kendali perangkat radiografi digital. Modul ini terdiri dari *intensifier screen* yang akan mengubah sinar-X menjadi cahaya tampak, cermin, IP kamera, modul kendali dan akuisisi data hasil pencitraan serta komputer sebagai pengolah citra digital. Dengan menggunakan modul ini, hasil pencitraan dari pesawat sinar-X segera bisa pindahkan ke komputer sebagai citra digital.

2. DASAR TEORI

Teknologi komunikasi nirkabel dewasa ini telah berkembang dengan pesat. Pemakaian komunikasi antara perangkat satu dengan perangkat yang lain dapat dilakukan secara nirkabel. Dalam perkembangannya saat ini memungkinkan dilakukan

pengisian catu daya (*charging*) perangkat secara nirkabel^[7, 8]. Wi-Fi atau *Wireless Fidelity* adalah Jaringan tanpa kabel atau nirkabel yang menggunakan satu atau banyak frekuensi tertentu. Wi-Fi merupakan standar yang digunakan untuk *Wireless Local Area Network* (WLAN). Standar yang dipakai mengacu pada IEEE 802.11a, selanjutnya dikembangkan menjadi 802.11b/g dan terakhir 802.11n, yang dapat mentransmisikan data sampai 300 Mbps. Pemakaian jaringan tanpa kabel dengan menggunakan Wi-Fi dengan protokol jaringan TCP/IP sudah banyak dilakukan, selain untuk komunikasi jaringan komputer lokal ataupun luar.

Perkembangan saat ini memungkinkan perangkat *embedded* untuk berkomunikasi menggunakan protokol jaringan TCP/IP. Pada setiap perangkat diidentifikasi dengan sebuah *MAC Address* dan *IP Address*, yang membedakan perangkat satu dengan yang lainnya. Pemakaian telah banyak dilakukan seperti telah dilakukan oleh Masahiko Nagai membuat *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* yang dikendalikan dari jarak jauh untuk pemantauan data lingkungan dengan menggunakan komunikasi TCP/IP dengan tanpa kabel^[9]. Pengiriman dan monitoring data menggunakan protokol komunikasi TCP/IP seperti yang dilakukan oleh Tokihiro Fakutsa^[10]. Penelitian keamanan data pada instalasi nuklir dengan menggunakan jaringan ini menyatakan aman dan bisa digunakan disampaikan oleh J. García-Hernández and C. F. García-Hernández dengan melakukan implementasi pemanfaatan jaringan *Wi-Fi LAN (Lokal Area Network)* di lingkungan PLTN. Kajian dilakukan pada beberapa kasus PLTN di dunia, pada komunikasi data numerik dari perangkat sensor, data visual dan suara^[11].

Topologi jaringan wireless pada umumnya mengikuti pola yang menggunakan kabel yang memungkinkan komunikasi antar perangkat. Jaringan ini mendefinisikan bagaimana piranti perangkat tanpa kabel berinteraksi pada layer *Physical* yaitu layer OSI (*Open System Inter Connection*). Pada komunikasi ini masih tetap menggunakan topologi jaringan yang umum yaitu *ad hoc* atau *infrastructure*. Pada jaringan tanpa kabel menggunakan standard 802.11, perangkat pendukung komunikasi berupa kabel digantikan dengan menggunakan spektrum frekwensi yang dipancarkan secara menyebar dan merata dengan frekwensi 2,4 GHz. Jaringan *Ad Hoc transitive*, yaitu jika dua piranti A dan B saling berkomunikasi pada jangkauan piranti A, maka jika ada piranti C akan masuk dalam jangkauan piranti B, tetapi tidak masuk dalam jangkauan A, maka piranti C tidak bisa berkomunikasi dengan piranti A. Jaringan *infrastructure* menggunakan suatu piranti Wi-Fi yang disebut *Access Point (AP)* sebagai suatu *bridge* antara piranti *wireless* dan jaringan kabel standard. Suatu *Access Point* (yang berisi *transceiver wireless compliant*) adalah suatu unit yang menghubungkan ke jaringan *Ethernet* (atau jaringan kabel lain) oleh suatu kabel. Fungsi *Access Point* adalah seperti *bridge*, yang secara efektif memperpanjang kabel jaringan dengan memasukkan piranti wireless didalamnya.

Jaringan *Wireless* IEEE 802.11 merupakan jaringan yang paling populer dari Jaringan *Wireless* atau *Wi-Fi network*. Jaringan ini berdasarkan *standard* IEEE 802.11, yang disebut secara informal sebagai jaringan Wi-Fi. Komunikasi Jaringan *Wireless* merupakan jaringan berbagi yang menggunakan satu jalur yang sama karena hanya ada satu *station* saja yang secara efektif mengirimkan data pada satu waktu. Standar 802.11 secara efektif bisa menjangkau areal sekitar 100 meter. Beberapa perangkat dengan teknologi khusus bisa menjangkau areal lebih luas sampai 300-400 meter. Jaringan Wi-Fi pada umumnya terdiri dari satu atau beberapa komputer yang dilengkapi adapter wireless, dengan satu atau lebih *wireless access point (WAP)*. Fungsi dari WAP ini adalah menjembatani atau mengarahkan *traffic* dari Jaringan Wi-Fi ke jaringan kabel LAN atau sebaliknya.

3. TATA KERJA

Tata kerja yang dilakukan dalam perancangan ini adalah melakukan studi literatur terutama proses pengambilan gambar citra cara. Langkah selanjutnya adalah melakukan

penentuan *step* putaran meja sampel dan *step* pergeseran meja sample. Setelah dilakukan penentuan proses selanjutnya adalah instalasi perangkat kontrol dengan *driver motor stepper* dan *motor stepper*-nya. Perangkat kontrol dengan modul komunikasi dan kamera pemantau dengan perangkat komunikasi. Langkah berikutnya adalah memasukan (*upload*) program ke modul Arduino Mega 2560. Pengujian dilakukan dengan melakukan verifikasi setiap menu perintah yang ditampilkan dengan aktuasi gerakan meja sample. Aktuasi gerakan meja sampel berputar dalam derajat tertentu diverifikasi besarnya sudut pergeseran. Pergeseran ke kanan dan kekiri diukur pergeserannya sudah sesuai dengan yang diperintahkan. Demikian pula halnya untuk lama waktu tempuh pergeseran dilakukan pengukuran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Alat dan Bahan

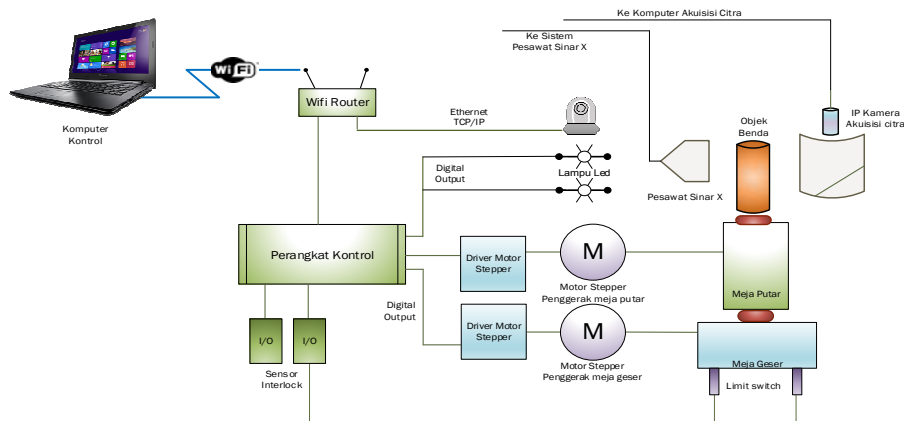
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *toolset* elektronik, *Digital Multimeter* Fluke 117, *function generator* Philips PM5139, *osiloscope* Textronik TDS2024. Peralatan penunjang untuk pembuatan program berupa *software* perangkat lunak *Sketch* versi 1.65, untuk pembuatan program mikrokontrolernya, yang dijalankan pada sistem operasi *Microsoft Windows Seven Ultimate Edition*. Program aplikasi browser digunakan untuk menjalankan perintah kontrol pergerakan meja sample, untuk putar dan geser. Komputer digunakan sebagai alat pemrograman dan komputer kontrol, dilengkapi dengan perangkat komunikasi Wi-Fi. Modul *router* sebagai modul *switch hub* jaringan Wi-Fi menggunakan TP-Link TL MR 3220. Kamera pemantau menggunakan *IP Camera* TP-LINK seri TL-SC4171g. Modul catu daya *switching* 12 V DC, beberapa komponen elektronik, relay, dioda, kapasitor, resistor, transistor, led, fuse, dan beberapa jenis konektor.

Bahan utama modul kontrol adalah modul Arduino Mega 2560, modul *ethernet shield* untuk komunikasi via TCP/IP dengan *chip set* WIZNet W5100. Modul *PCB Screw Shield* untuk memudahkan koneksi pengkabelan antara modul Arduino Mega dengan perangkat lainnya. *Motor stepper* dan *driver motor stepper* menggunakan Autonic Model A50K-S566(W)-G10 dan Model MD5-HF14.

4.2. Rancangan Sistem

Sistem pada perancangan kontrol meja putar dan pengambilan gambar modul penangkap citra radioscopi untuk industri, terdiri dari empat bagian utama. Bagian pertama adalah perangkat lunak aplikasi kontrol meja putar dan pengambilan gambar. Bagian kedua adalah perangkat komunikasi antara komputer dengan IP Kamera, dan komputer dengan perangkat kontrol meja putar. Bagian ketiga adalah perangkat kontrol meja putar, dan bagian ke empat adalah IP kamera sebagai perangkat akuisisi citra dan IP kamera sebagai kamera pemantau proses pengambilan citra. Gambar 1 menjelaskan blok diagram dari sistem tersebut. IP Kamera sebagai akuisisi citra tidak dibahas karena merupakan bagian yang dikerjakan oleh tim akuisisi dan pengolahan citra.

Proses pengendalian meja sampel mengikuti cara pengambilan citra, yaitu objek benda dilakukan penyinaran dengan sinar-X kontinyu, dan objek benda diputar setiap derajat tertentu untuk mendapatkan sejumlah gambar. Misalnya untuk merekonstruksi gambar citra, diperlukan 120 gambar citra, maka objek diputar setiap 3 derajat, dan gambar citra diambil. Meja sampel dapat digeser ke kanan dan ke kiri, untuk setiap jarak tertentu untuk mengatur letak objek sehingga posisinya tepat berada ditengah. Pengendalian putaran meja sampel harus dilakukan dari ruang terpisah, sehingga digunakan komunikasi TCP/IP dengan media tanpa kabel.



Gambar. 1. Blok diagram sistem kontrol meja putar dan pengambilan citra.

Komponen utama perangkat keras yang digunakan pada perancangan ini adalah *switch hub Wi-Fi router*, sebagai perantara komunikasi antara komputer dengan perangkat meja putar dan IP kamera. Dengan perangkat ini meja putar dapat dikontrol dari jarak jauh (maksimal 100 meter) dengan menggunakan kabel UTP, atau secara nirkabel dengan memanfaatkan komunikasi Wi-Fi. IP kamera merupakan kamera dengan komunikasi menggunakan TCP/IP, kamera ini digunakan untuk memantai selama proses pengambilan gambar. Pada makalah ini digunakan kamera *IP Camera TP-LINK* seri TL-SC4171g. Perangkat kontrol meja putar terdiri dari beberapa komponen. Komponen aktuasi menggunakan dua buah motor *stepper* dari Autonics *type A50K-M566-G10*, dengan driver motor *stepper* Autonics *type MD5-HF14*. Motor ini dilengkapi dengan *gearbox* dengan rasio 1:10, 10 kali putaran motor 1 kali putaran poros *gearbox*. Spesifikasi lengkap ditampilkan pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel. 1. Spesifikasi motor stepper penggerak meja putar dan penggerak pergeseran meja^[12].

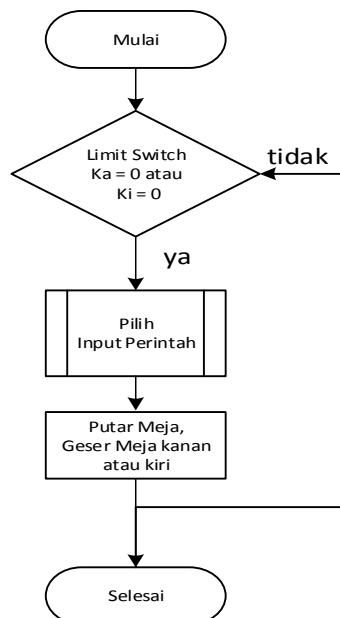
Model A50K-S566(W)-G10	
Parameter	Range
Diameter (□)	60 mm
Max. Allowable torque	50 kgf.cm / (5.0 N.m)
Moment of rotor inertia	280 g.cm ² / (280 x 10 ⁻⁷ kg.m ²)
Rated current	1.4 A/Phase
Basic Step angle	0.072° / 0.036° (Full/Half)
Permissible speed range	0 – 180 rpm
Baclash	± 20' (0.33°)

Tabel. 2. Spesifikasi driver motor stepper penggerak meja putar dan penggerak pergeseran meja^[12].

Model MD5-HF14	
Parameter	Range
Power supply	100 – 220 VAC 50/60 Hz
Allowable voltage range	± 10 % of rated voltage
Power consumption	3° (Max)
RUN current	0.4 ~ 1.4 A/Phase
Resolution	1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 20, 25, 40, 50, 80, 100, 125, 250 division
Input pulse spec.	Pulse width Min. 0.1 µs
	Pulse interval Min. 0.1 µs
	Rising/falling Max. 1 µs
	Pulse input voltage [H] 4-8 VDC, [L] 0-0.5 VDC
	Max input pulse frequency Max. 500 kHz (duty cycle 50 %)
Ambient temperature	0 ~ 50 °C
Ambient humidity	35 ~ 85 % RH

Perangkat kontrol terdiri dari modul mikrokontroler, modul komunikasi *Ethernet*, modul *screw* terminal, modul relay, modul catu daya 12 V DC dan 24 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 dan 24 V DC berfungsi untuk mencukupi kebutuhan catu daya perangkat kontrol.

Perangkat lunak program utama kontrol putaran meja sample ditanam pada modul ATmega 2560. Program ditulis dengan menggunakan Arduino IDE Sketch versi 1.5.6. Program dapat yang ditanamkan pada modul ATmega 2560 ini memungkinkan dapat diakses dengan program aplikasi selain browser, pada makalah ini disampaikan akses perintah kontrol putaran meja sample dijalankan pada aplikasi berbasis *browser*. Dalam pengembangan selanjutnya perangkat kontrol ini memungkinkan untuk dilakukannya integrasi dengan perangkat akuisisi citra. Keluaran digital output untuk mengaktifkan perangkat pesawat sinar-X disediakan 2 kanal, yang programnya sudah dimasukkan. Pada perancangan kanal ini diisi dengan lampu led sebagai indikator pesawat sinar-X aktif atau tidak aktif.



Gambar. 2. *Flowchart* perintah mikrokontroler dari komputer kontrol.

Langkah kerja yang dilakukan adalah melakukan instalasi dan integrasi perangkat kontrol yang terdiri dari modul catu daya 12 V DC dan 24 V DC, modul mikrokontroler, modul Relay, modul terminal *screw*, modul komunikasi *ethernet*, *driver* motor *stepper* dan motor *stepper*. Langkah berikutnya melakukan *developing* program untuk mikrokontrolernya. Program yang digunakan untuk pengendalian motor *stepper* melalui protokol komunikasi TCP/IP sesuai dengan *flowchart* yang ditampilkan pada Gambar 2. Salah satu spesifikasi dari program yang di-*develop* ke mikrokontroler adalah dapat diintegrasikan dengan program lain, misalnya yang dibangun dengan menggunakan Labview, Microsoft Visual Studio, atau program pengembang lainnya.

Beberapa pilihan menu untuk pengendalian putaran meja adalah :

- Putaran meja di-*set* searah jarum jam, dengan pilihan perintah, geser 1⁰, 2⁰, 3⁰, 5⁰, 10⁰, 15⁰, 20⁰, 30⁰, dalam moda kecepatan normal dan moda kecepatan cepat. Moda

- normal untuk kecepatan putaran 1⁰, per detik, dan moda cepat untuk kecepatan 5⁰, per detik.
- Pilihan menu lainnya adalah moda Auto, menu pilihan ini menyediakan pilihan auto 120 dan auto 360. Auto 120 memungkinkan secara otomatis objek diambil citranya sebanyak 120 gambar dalam satu putaran, dalam sekali perintah. Auto 360 memungkinkan secara otomatis objek diambil citranya sebanyak 360 gambar dalam satu putaran, dalam sekali perintah.
 - Menu Geser kiri atau Geser Kanan, menu ini akan memerintahkan meja bergeser ke arah kiri atau kanan dengan kecepatan pergeseran 2 mm/dt. Pilihan perintahnya masing-masing untuk Geser Kiri atau Geser Kanan adalah 0,8 mm, 0,2 mm, 1 mm, 1 cm, 5 cm, dan 10 cm.
 - Geser Auto, menyediakan pilihan 40 cm, 30 cm dan 20 cm. Auto 40 cm, meja akan bergeser sejauh 1 cm dari batas kiri, selanjutnya akan mengambil citra setiap jarak 0,8 mm, sampai sejauh 40 cm atau 500 gambar, dan kembali ke batas kiri. Auto 30 cm, meja akan bergeser sejauh 6 cm dari batas kiri, selanjutnya akan mengambil citra setiap jarak 0,8 mm, sampai sejauh 30 cm atau 375 gambar dan kembali ke batas kiri. Moda Auto 20 cm, meja akan bergeser sejauh 11 cm dari batas kiri, selanjutnya akan mengambil citra setiap jarak 0,8 mm, sampai sejauh 20 cm atau 250 gambar dan kembali ke batas kiri. Lebar pergeseran meja adalah sejauh 420 cm.
 - Pilihan Parkir, moda ini memerintahkan motor *stepper* berputar menggeser meja ke arah kiri, sampai menyentuh batas kiri.
 - Pilihan Test status, menu perintah untuk melakukan test koneksi dengan menghidupkan dan mematikan led indikator.

Perangkat kontrol dapat dikendalikan dari komputer kontrol dengan menggunakan komunikasi *TCP/IP*, setelah sistem ditentukan *IP Address*-nya. Pada pengaturan ini digunakan *IP Address* 192.168.0.177, untuk perangkat kontrol dan 192.168.0.111, untuk kameranya. Penggalan program di bawah menjelaskan inisiasi dan penentuan untuk *IP Address* dan *MAC Address* perangkat kontrol.

4.3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian ditabelkan seperti pada tabel 3 dan tabel 4. Perintah menu dipilih dari komputer kontrol, gerakan putaran meja dan pergeserannya diamati dari skala yang ada di meja sampel. Waktu tempuh lamanya pergerakan diukur dengan menggunakan *stop watch*.

Tabel. 3. Data pengukuran putaran meja

Kecepatan : Normal

Perintah Menu	Karakter perintah	Putar meja (°)	Waktu tempuh (detik)
1*	n01	1	1,02
2*	n02	2	2,02
3*	n03	3	3,02
5*	n05	5	5,03
10*	n10	10	10,03
15*	n15	15	15,03
20*	n20	20	20,03
30*	n30	30	30,03

Kecepatan : Cepat

Perintah Menu	Karakter perintah	Putar meja (°)	Waktu tempuh (detik)
1*	n01	1	0,24
2*	n02	2	0,47
3*	n03	3	0,68
5*	n05	5	1,19
10*	n10	10	2,28
15*	n15	15	3,34
20*	n20	20	4,28
30*	n30	30	6,24

Tabel. 4. Data pengukuran pergeseran meja Geser kanan

Geser kanan				Geser kiri			
Perintah Menu	Karakter perintah	Geser meja (mm)	Waktu tempuh (detik)	Perintah Menu	Karakter perintah	Geser meja (mm)	Waktu tempuh (detik)
0,8 mm	tn1	0,8	0,42	0,8 mm	kw1	0,8	0,43
0,2 mm	tn2	0,2	0,11	0,2 mm	kw2	0,2	0,11
1 mm	tn3	1	0,52	1 mm	kw3	1	0,52
10 mm	tn4	10	5,04	10 mm	kw4	10	5,39
50 mm	tn5	50	25,09	50 mm	kw5	50	25,10
100 mm	tn6	100	50,16	100 mm	kw6	100	50,12

Hasil perhitungan ditampilkan pada tabel 5. Perhitungan merupakan selisih nilai hasil pengukuran dengan nilai yang telah ditetapkan (yang seharusnya). Program Auto tidak dilakukan pengujian, hal ini dikarenakan nilai pergeseran dari putaran meja dan pergerakan geser meja ke kanan dan ke kiri presisi sesuai perintah yang telah dijalankan. Selisih nilai antara hasil pengukuran dengan nilai yang telah ditetapkan dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 1.

$$Selisih = \frac{NP - NT}{NT} \cdot 100\% \dots\dots\dots (1)$$

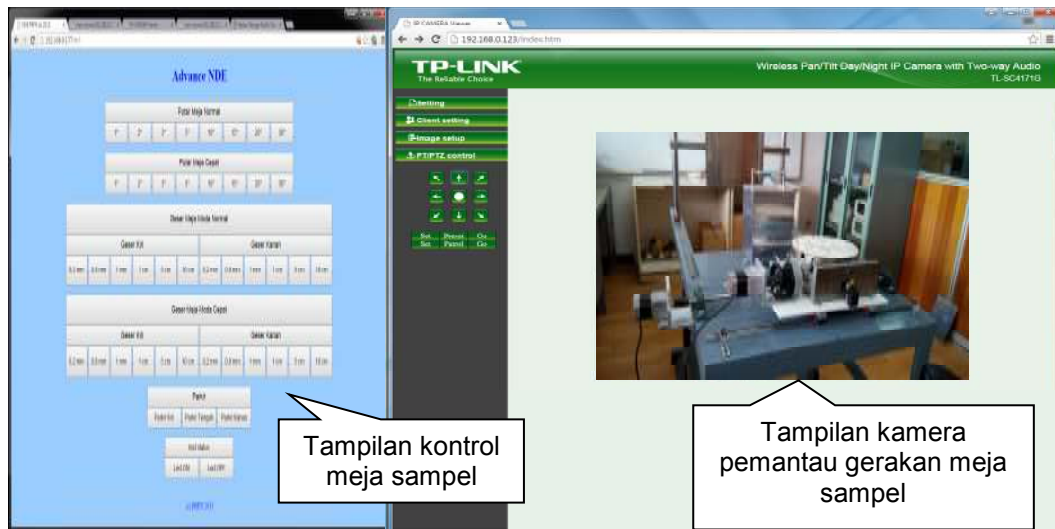
Selisih dalam persen (%) merupakan perbandingan relatif antara nilai hasil yang telah ditetapkan dan pergerakan putaran dan pergeseran dari hasil yang ditetapkan dalam program.

Tabel. 5. Prosentase selisih waktu

Putaran Meja sampel					Pergeseran Meja sampel				
Perintah Menu	Putar meja (°)	Waktu tempuh (dt)	Waktu tetapan (dt)	Selisih (%)	Perintah Menu	Geser meja (mm)	Waktu tempuh (dt)	Waktu tetapan (dt)	Selisih (%)
Kecepatan normal					Geser Kanan				
1*	1	1,02	1	2,00	0,8 mm	0,8	0,42	0,40	5,00
2*	2	2,02	2	1,00	0,2 mm	0,2	0,11	0,10	10,00
3*	3	3,02	3	0,67	1 mm	1	0,52	0,50	4,00
5*	5	5,03	5	0,60	10 mm	10	5,04	5,00	0,80
10*	10	10,03	10	0,30	50 mm	50	25,09	25,00	0,36
15*	15	15,03	15	0,20	100 mm	100	50,16	50,00	0,32
20*	20	20,03	20	0,15	Geser Kiri				
30*	30	30,03	30	0,10	0,8 mm	0,8	0,43	0,40	7,50
Kecepatan cepat					0,2 mm	0,2	0,12	0,10	10,00
1*	1	0,24	0,20	20,00	1 mm	1	0,52	0,50	4,00
2*	2	0,47	0,40	17,50	10 mm	10	5,39	5,00	7,80
3*	3	0,68	0,60	13,33	50 mm	50	25,10	25,00	0,40
5*	5	1,19	1,00	19,00	100 mm	100	50,12	50,00	0,24
10*	10	2,28	2,00	14,00					
15*	15	3,34	3,00	11,33					
20*	20	4,28	4,00	7,00					
30*	30	6,24	6,00	4,00					

Dari pengukuran selisih waktu, didapatkan hasil yang tidak sesuai dengan yang diprogramkan. Kesalahan dapat diakibatkan beberapa hal, antara lain pada saat

pengambilan data misalnya selisih jeda penekanan tombol perintah dengan penekanan tombol *start / stop di stopwatch*. Pada pemilihan moda putaran meja cepat, selisih waktu relatif lebih lama, hal ini disebabkan untuk mendapatkan kecepatan 5 derajat per detik, digunakan tiga segmen pengaturan jumlah pulsa pada motor *stepper*. Sebagai awalan dimasukan pulsa 1250 Hz, selama 15 % waktu, selanjutnya 6250 Hz selama 70 % berikutnya 1250 Hz di 15 % waktu terakhir untuk pengereman. Algoritma pengaturan percepatan dan perlambatan motor *stepper* disajikan dalam makalah terpisah.



Gambar. 3. *Print screen* kontrol meja putar dan meja geser.

Gambar 3. Menampilkan *print screen* tampilan di komputer kontrol dengan menggunakan *browser* Google Chrome. Tampilan kamera pemantau dapat menampilkan kondisi pengambilan gambar citra. Kedua tampilan dapat dipanggil bersamaan dalam satu tampilan. Akuisis gambar citra dilakukan secara terpisah dengan menggunakan program aplikasi lain. Kedepannya kontrol gerakan meja dan akuisisi citra dilakukan dalam satu program aplikasi. Gambar 4. Menampilkan perangkat kontrol untuk meja putar dan meja geser, dan bagian-bagiannya.



Gambar. 4. Perangkat kontrol meja putar dan meja geser.

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan perekayasaan perangkat kontrol yang akan digunakan untuk pengambilan gambar 2 dimensi yang akan direkonstruksi menjadi citra 3 dimensi menggunakan perangkat sinar-X. Perekayasaan belum dapat diintegrasikan dengan perangkat sinar-X kontinyu, dikarenakan belum tersedianya perangkat ini. Hasil pengujian perangkat kontrol meja putar dan meja geser dapat berfungsi dengan baik, dengan keterlambatan untuk waktu putaran. Keterlambatan ini akan menyebabkan waktu pengambilan gambar citra lebih lama dibandingkan dengan yang seharusnya. Keterlambatan pengambilan gambar citra sebesar 20 % untuk pergeseran setiap 1⁰ (waktu 0,24 detik).

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] R. A. Mintern, J. C. Chaston, 1959, *Gamma Radiography with Iridium 192*, Platinum Metals Rev 3.
- [2.] Scottish School of Non-Destructive Testing, 2010, *Non Destructive Test*, Elsevier Inc, doi: 10.1016/B978-0-7506-8308-1.00031-0.
- [3.] Demon Handoyo, 2013, *Program Manual Perekayasaan Modul Perangkat Keras Penangkap Citra Rodioskopi untuk Industri Manufaktur dan Modul Software Akuisisi dan Kendali Perangkat Radiografi Digital*, PRFN – BATAN.
- [4.] Kristedjo K, _____, *Desain Dasar Perekayasaan Perangkat Digital Radiografi Untuk Industri*, DS-DR13-2.1.0.0.01.00, Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN,.
- [5.] I Putu Susila, dkk, 14 November 2013, *Perekayasaan Pesawat Sinar-X Digital : Karakterisasi Flat Panel Detector*, Prosiding Pertemuan Ilmiah Perekayasaan Perangkat Nuklir, PRPN – BATAN.
- [6.] Anonim, 2013, *IAEA Radiation Technology Reports No. 2, Design, Development and Optimization of a Low Cost System for Digital Industrial Radiology*,.
- [7.] <http://www.androidcentral.com/galaxy-s5-wireless-charging>, diakses 11 April 2015, 20.45.
- [8.] <http://powerbyproxi.com/wireless-charging/>, diakses 11 April 2015, 20.55.
- [9.] Masahiko Nagai, Apichon Witayangkurn, Kiyoshi Honda, and Ryosuke Shibasaki, 2012, *Research Article UAV-Based Sensor Web Monitoring System*, Hindawi Publishing Corporation International Journal of Navigation and Observation Volume 2012, Article ID 858792, 7 pages doi:10.1155/2012/858792
- [10.] Tokihiro FUKATSU, Masayuki HIRAFUJI, 2005, *Field Monitoring Using Sensor-Nodes with a Web Server*, Journal of Robotics and Mechatronics Vol.17 No.2, 2005 pp.164-172.
- [11.] J. García-Hernández and C. F. García-Hernández, 2008, *An Analysis of Implementing Wireless LAN Technology in Nuclear Power Plants*, Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference 2008 978-0-7695-3320-9/08 \$25.00 © 2008 IEEE DOI 10.1109/CERMA.2008.29.
- [12.] Oriental, katalog produk oriental, 2013.