Rancang Bangun Alat Monitoring Kemiringan pada Ekskavator Berbasis PLC (*Programmable Logic Controller*) dan HMI (*Human Machine Interface*)

Ahmad Faridh[1], Nd Asep Dalman[2]

Dosen Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa[1], Mahasiswa Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa[2]

E-mail : ahmad.faridh@sttdb.ac.id , nd.asepdalman@gmail.com

Abstrak-- Ekskavator yang digunakan di dunia pertambangan mempunyai peran yang sangat signifikan. Karena intensitas pekerjaan yang tinggi dengan medan kerja yang mempunyai sudut kemiringan beragam, membuat bagian ekskavator pada komponen *swing circle* sering mengalami kerusakan. Dalam perbaikan atau penggantian *swing circle* ini, membutuhkan biaya yang besar, tenaga yang banyak dan waktu yang lama. Untuk itu diperlukan alat untuk memonitoring kemiringan ekskavator saat bekerja. Alat monitoring kemiringan ini digunakan untuk memberikan alarm peringatan ketika ekskavator melebihi sudut kemiringan yang diperbolehkan dan memberikan informasi sudut kemiringan secara *realtime* kepada operator. Serta alat ini akan mencatat waktu berapa lama ekskavator bekerja pada sudut kemiringan yang melebihi standarnya dan hasilnya dapat digunakan untuk memprediksi kerusakan *swing circle*. Alat ini menggunakan beberapa komponen, antara lain sensor kemiringan (*inclinometer sensors*), PLC, HMI dan modul analog input.

Kata kunci : ekskavator, *swing circle*, *realtime*, monitoring, sensor kemiringan, *inclinometer sensors*

I. PENDAHULUAN

Dalam dunia pertambangan, baik model pertambangan terbuka atau tertutup (di dalam tanah), seluruh kegiatan operasional yang dikerjakan membutuhkan bantuan alat berat. Sebab, aktivitas yang dilakukan di lapangan adalah pekerjaan dengan intensitas yang tinggi. Penggunaan alat berat akan membantu para pekerja untuk meningkatkan efektifitas hasil produksi. Bahkan, penggunaan alat berat mampu membantu menekan angka kecelakaan kerja. Karena pekerjaan dengan intensitas tinggi mempunyai resiko kecelakaan kerja yang tinggi. Dengan bantuan alat berat, resiko tersebut dapat dikurangi.

Dengan fungsi yang sangat banyak, kontur medan kerja yang bermacam-macam, dan permukaan tanah yang miring dengan variasi sudut kemiringan beraneka macam, membuat kerusakan pada komponen ekskavator semakin rawan terjadi. Bagian ekskavator yang rawan mengalami kerusakan adalah *swing circle*. Kerusakan *swing circle* yang terjadi secara mendadak saat beroperasi, akan sangat merugikan. Untuk itu, akan lebih menguntungkan jika dapat memprediksi kerusakan (*predictive maintenance*) *swing circle* ini secara dini.

Bagian *swing circle* ini sangat vital dikarenakan :

a) Harga spare part yang mahal.
b) Waktu pemesanan dan pengiriman lama.
c) Perbaikan dan penggantian membutuhkan waktu lama.
d) Biaya alat bantu dalam proses perbaikan dan penggantian seperti *lifting* sangat mahal.

Untuk meminimalisir kerusakan *swing circle* yang terjadi secara mendadak saat beroperasi dan untuk memprediksi (*predictive maintenance*) *lifetime* dari *swing circle*, maka diperlukan sebuah alat untuk memonitoring kemiringan ekskavator saat beroperasi. Sebab, pengoperasian ekskavator dengan sudut kemiringan yang melebihi standarnya akan membuat *swing circle* menjadi lebih cepat rusak.

Alat monitoring kemiringan ini diharapkan dan dirancang mampu untuk memonitoring hal-hal sebagai berikut :

a) Memberikan gambaran visual sudut kemiringan ekskavator secara *realtime* melalui HMI kepada operator ekskavator.
b) Memberikan alarm peringatan kepada operator ketika posisi kerja ekskavator melebihi sudut kemiringan yang diperbolehkan.
c) Merekam dan mencatat waktu pengoperasian ekskavator ketika posisi ekskavator melebihi sudut kemiringan yang diperbolehkan.
d) Merekam *history* alarm yang terjadi dalam pengoperasian ekskavator ketika melebihi sudut kemiringan.

Tujuan dari perancangan dan pembuatan alat ini, antara lain :

a. Memonitoring kemiringan ekskavator saat beroperasi.
b. Meminimalisir kerusakan *swing circle* saat beroperasi.
c. Memprediksi (*predictive maintenance*) *lifetime* dari *swing circle* dengan berpedoman pada data yang direkam oleh alat monitoring ini (perbaikan dapat direncanakan).
d. Meningkatkan produktivitas dan mengurangi *downtime*.

II. DASAR TEORI

A. *Ekskavator*

1) Sejarah Ekskavator :

Ekskavator pertama kali diciptakan oleh William Smith Otis pada tahun 1835. Dia adalah seorang ahli mekanik asal Amerika Serikat. Pada awalnya, ekskavator dijalankan dengan menggunakan mesin uap dan digunakan sebagai alat penggalian untuk membangun rel kereta api. Pada tahun 1839, William Smith Otis menerima hak paten atas karya ekskavator temuannya. Pada tahun 1840, terdapat 7 buah ekskavator dan merupakan ekskavator pertama di dunia yang diciptakan oleh William Smith Otis

Gambar 1 Model ekskavator

2) Swing Circle :

Swing circle merupakan *undercarriage parts excavator* yang berfungsi untuk menopang *upperstructure* dan meneruskan putaran dari *swing machinery* melalui *shaft pinion* sehingga menghasilkan gerakan berputar *(swing)* pada *upperstructure excavator*. Kemampuan berputar mencapai 360° sehingga membuat pekerjaan menjadi lebih efisien dan efektif karena ekskavator tidak memerlukan posisi yang berubah-ubah ketika melakukan pekerjaannya. *Swing circle* ini menjadi bagian yang penting karena jika mengalami kerusakan, maka ekskavator tidak dapat bekerja maksimal dan akan menimbulkan kerugian yang banyak.

B. *PLC (Programmable Logic Controller)*

1) Sejarah dan Pengertian PLC :

PLC pertama kali dikembangkan oleh General Motor tahun 1968 yang dipergunakan sebagai alternatif untuk mengganti sistem kontrol konvensional (sistem relai kontrol) yang sangat kompleks. Dimana sistem relai kontrol ini sangatlah rumit dalam segala aspek perawatan dan perbaikannya. Oleh karena itu, dikembangkanlah sistem PLC yang mempunyai banyak kelebihan sehingga kekurangan dari sistem kontrol konvensional dapat tertutupi.

PLC disebut juga *Programmable Logic Controller* atau *Sequence Controller* adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengontrol berbagai perangkat yang berhubungan dengan *input* dan *output* serta mempunyai *internal memory* untuk menyimpan instruksi program yang telah dibuat.

Menurut IEC61131 (bagian kesatu), pengertian PLC adalah sistem elektronik yang beroperasi secara digital, menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan data sesuai keinginan pengguna, untuk melakukan fungsi khusus seperti *logic*, *sequencing*, *timing*, *arithmetic*, melalui *input* baik analog maupun digital.

Sampai dengan saat ini, berkembang berbagai macam PLC yang digunakan dalam dunia *industry* dengan segala kelebihan dan kekurangan masing-masing. Misalnya PLC Mitsubishi, PLC Omron, PLC Schneider, PLC Siemens.

Gambar 2 Berbagai macam merk PLC

2) Bagian-Bagian PLC :

Bagian-bagian PLC antara lain, seperti di bawah ini :

- *input devices*
- *output devices*
- CPU (*Central Processing Unit*)
- *memory*
- *power supply*

3) Bahasa Pemrograman PLC :

Menurut IEC 61131-3, terdapat lima bahasa pemrograman yang dipakai untuk memprogram suatu PLC antara lain :

- *Ladder Diagram*
- *Function Block Diagram*
- *Sequential Function Chart*
- *Statement List* (*Instruction List*)
- *Structured Text*

C. *HMI (Human Machine Interface)*

HMI adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin, yang dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik secara manual maupun melalui visualisasi *computer* yang bersifat *realtime*. HMI merupakan sarana bagi operator untuk mengakses sistem otomasi di lapangan yang mencakup operasional, pengembangan, perawatan dan *trouble shooting*. Sistem HMI biasanya bekerja secara *online* dan *realtime* dengan membaca data yang dikirimkan melalui *port* yang digunakan oleh sistem kontrolnya. Jenis *port* yang biasanya dipakai antara lain *port* COM, *port* USB, *port* RS232 ataupun *port* serial.

Fungsi dari HMI antara lain :

- Memberikan informasi *plant* yang *realtime* kepada operator melalui GUI (*Graphical User Interface*).
- Menterjemahkan instruksi operator ke mesin.
- Memonitor kondisi yang ada di *plant*.
- Mengatur nilai *parameter setting* yang ada di *plant*.
- Mengambil tindakan yang sesuai dengan keadaan yang terjadi.
- Memunculkan tanda peringatan dengan menggunakan alarm jika terjadi sesuatu yang tidak normal.

- Menampilkan pola data kejadian yang ada di *plant* baik secara *realtime* maupun *historical* (*trending history*).

D. *Sensor Kemiringan (Inclinometer Sensor)*

Sebuah *inclinometer* (*clinometer*) adalah alat yang digunakan untuk mengukur sudut kemiringan (*tilt*), elevasi, atau depresi suatu obyek terhadap gravitasi. Hal ini dikenal juga sebagai *indicator tilt*, sensor kemiringan, kemiringan meteran, kemiringan peringatan, kemiringan alat ukur, meteran gradien, *gradiometer*, mengukur tingkat, *levelmeter*, *declinometer* dan indikator gulungan.

Inclinometer sensor adalah alat elektronik yang bekerja untuk mengukur sudut kemiringan. Dalam penggunaan sensor ini, tidak lepas dari faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja, antara lain gravitasi bumi, suhu, getaran, guncangan, akselerasi, deselerasi dan lain sebagainya. Untuk itu diperlukan juga suatu teknologi yang dapat membuat hasil dari pembacaan sensor kemiringan ini menjadi lebih akurat. Dan di era modern seperti ini, semua faktor-faktor tersebut sudah dipikirkan dan diaplikasikan penanganannya oleh setiap pabrikan yang memproduksi sensor kemiringan.

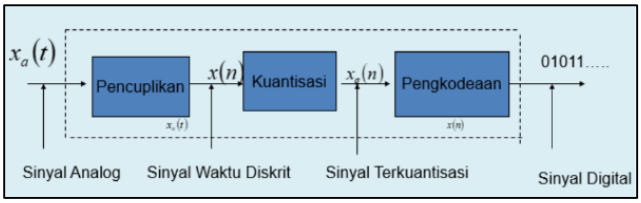
E. *ADC (Analog to Digital Converter)*

Analog to digital converter (ADC) adalah suatu perangkat yang mengubah suatu data kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data diskrit terhadap waktu (digital). Pada umumnya, ADC ini dipakai sebagai perantara antara sensor analog dengan sistem komputer dalam proses pembacaannya.

Proses dalam ADC meliputi pencuplikan, pengkuantisasian dan pengkodean. Pencuplikan adalah proses pengambilan suatu nilai pasti (diskrit) dalam suatu data kontinu pada satu titik waktu tertentu dengan periode yang tetap. Pengkuantisasian adalah proses pengelompokan data diskrit yang didapatkan pada proses pertama ke dalam kelompok-kelompok data. Kuantisasi, dalam matematika dan pemrosesan sinyal digital, adalah proses pemetaan nilai input seperti nilai pembulatan. Pengkodean adalah mengkodekan data hasil kuantisasi ke dalam bentuk digital (0/1) atau dalam suatu nilai biner.

ADC memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan *sampling* dan resolusi. Kecepatan sampling menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling dinyatakan dalam *sample per second*.

Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal input dan tegangan referensi. Rumus yang dapat digunakan adalah **ADC = (Vin/Vref) . (2^n-1)**, dimana (2^n-1) adalah resolusi ADC dalam bentuk desimal.

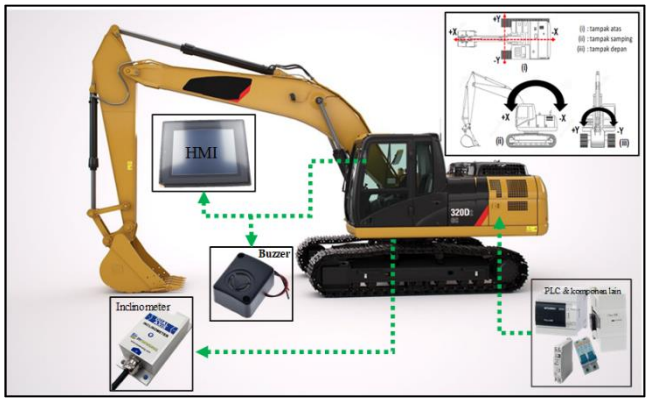


Gambar 3 Proses ADC

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

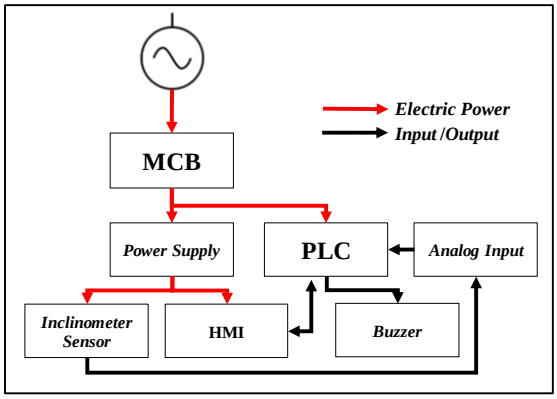
A. *Gambaran Alat*

Alat ini akan memonitoring kemiringan ekskavator dalam 2 posisi (sumbu x dan sumbu y). Sumbu x adalah monitoring untuk kemiringan ke depan dan ke belakang, sedangkan sumbu y untuk monitoring kemiringan ke samping kanan dan kiri.



Gambar 4 Gambaran alat

B. *Block Diagram*



Gambar 5 *Block diagram*

C. *Perencanaan Komponen*

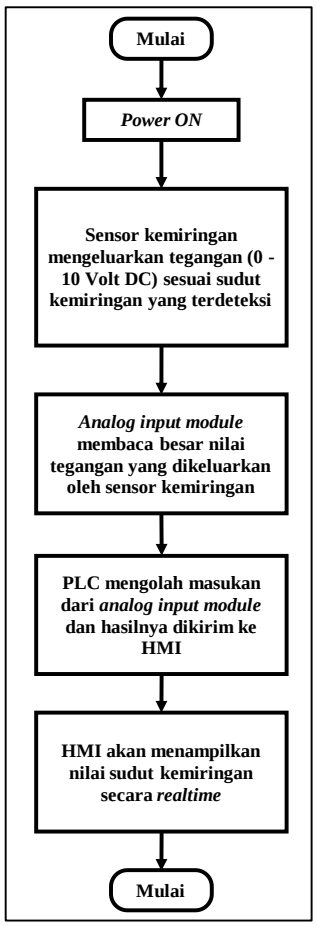
Komponen-komponen yang akan digunakan dalam alat monitoring ini antara lain :

- Power supply OMRON S8VS-03024
- PLC Mitsubishi FX3G-24MR-ES
- *Analog input module* FX2N-2AD
- HMI Keyence VT3-V7
- Sensor kemiringan BW Sensing BWK220
- *Buzzer*

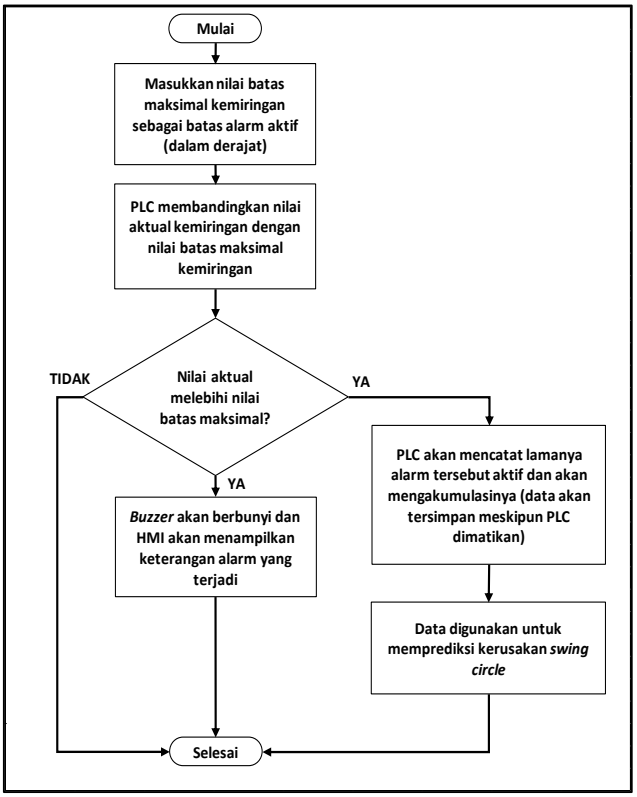
D. *Flowchart*

Flowchart pada alat monitoring kemiringan ekskavator ini terbagi menjadi dua *flowchart*, yaitu :

- *Flowchart* tampilan sudut secara *realtime*
- *Flowchart* alarm dan akumulasi waktu alarm

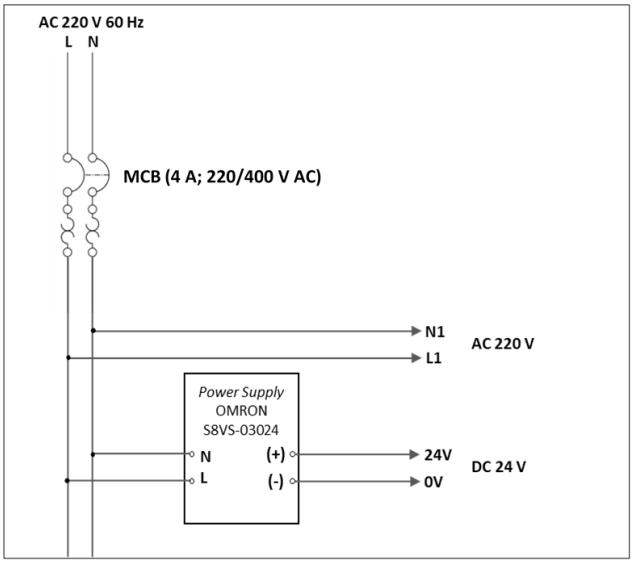


Gambar 6 Flowchart tampilan sudut secara realtime

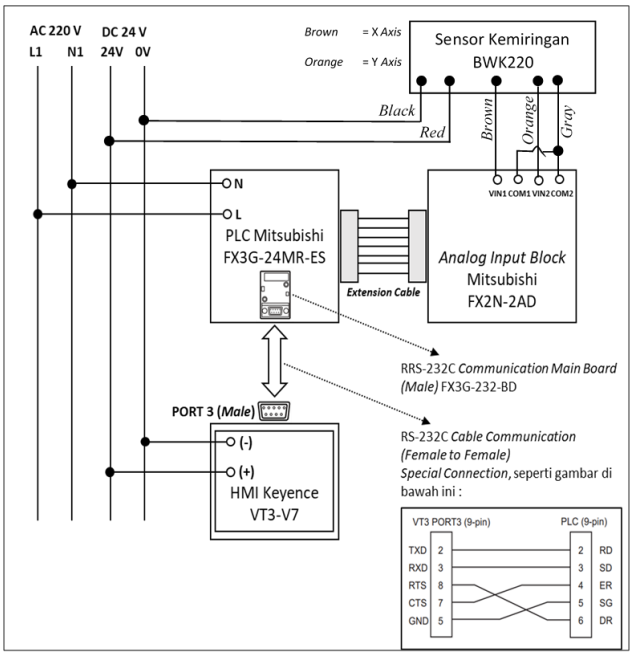


Gambar 7 Flowchart alarm dan akumulasi waktu alarm

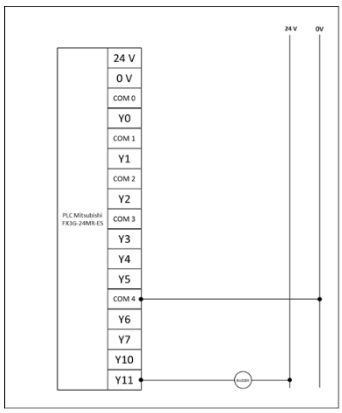
E. Perancangan dan Pembuatan Alat



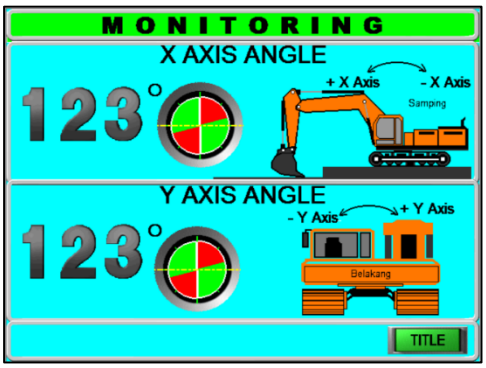
Gambar 8 Rangkaian sumber listrik



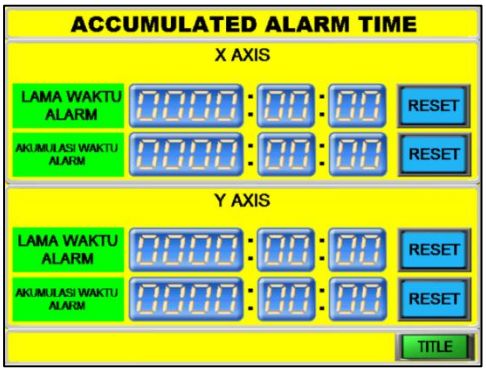
Gambar 9 Rangkaian antar komponen



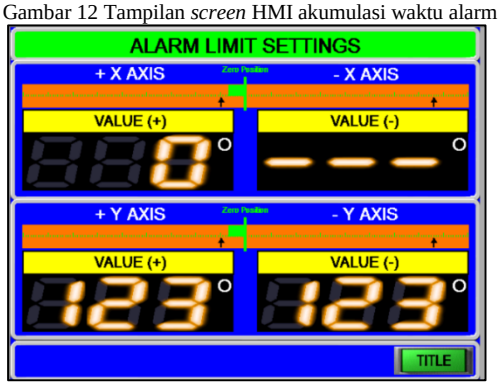
Gambar 10 Rangkaian *output* PLC



Gambar 11 Tampilan *screen* HMI *realtime* sudut kemiringan



Gambar 12 Tampilan *screen* HMI akumulasi waktu alarm



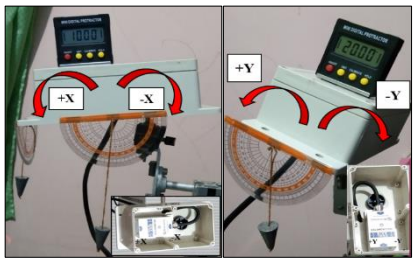
Gambar 13 Tampilan *screen* HMI batas alarm

IV. PENGUJIAN ALAT

Pengujian yang dilakukan antara lain :

- Pengujian kekencangan terminal sambungan
- Pengujian besar tegangan masukan dan keluaran
- Pengujian komunikasi antar komponen
- Pengujian sensor kemiringan

dan pengujian yang akan dijelaskan adalah pengujian sensor kemiringan.



Gambar 14 Cara pengujian sensor kemiringan

Gambar 15 Alat untuk pengujian

TABEL I

Keterangan Alat untuk Pengujian

No	Nama Alat	Keterangan
1	*Inclinometer level*	Melihat sudut pengujian X & Y-*axis* (digital)
2	*Box* sensor kemiringan	Tempat penyimpanan sensor kemiringan
3	*Inclinometer* manual X-*axis*	Melihat sudut pengujian X-*axis* (manual)
4	*Inclinometer* manual Y-*axis*	Melihat sudut pengujian Y-*axis* (manual)
5	Multimeter	Mengukur tegangan keluaran dari sensor
6	HMI	Melihat hasil perhitungan program PLC
7	Tampilan pada laptop	Melihat nilai ADC pada PLC

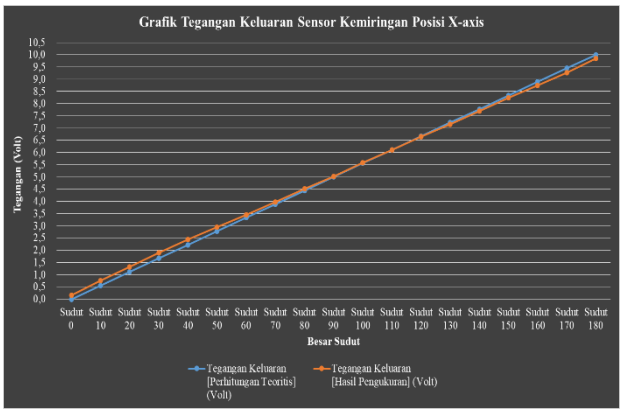
A. Pengujian dengan Referensi Sudut Kemiringan X-Axis

Hasil dari pengujian X-*axis* adalah sebagai berikut :

TABEL II

Hasil Pengujian Tegangan Sensor dengan Referensi Sudut Kemiringan

Sudut Pengujian (°)	**Tegangan Keluaran [Perhitungan Teoritis] (Volt)**	**Tegangan Keluaran [Hasil Pengukuran] (Volt)**	**Selisih Pengukuran (Volt)**	***Error***
Sudut 0	0,000	0,160	0,1600	#DIV/0!
Sudut 10	0,556	0,760	0,2044	36,80%
Sudut 20	1,111	1,320	0,2089	18,80%
Sudut 30	1,667	1,900	0,2333	14,00%
Sudut 40	2,222	2,440	0,2178	9,80%
Sudut 50	2,778	2,940	0,1622	5,84%
Sudut 60	3,333	3,450	0,1167	3,50%
Sudut 70	3,889	3,980	0,0911	2,34%
Sudut 80	4,444	4,510	0,0656	1,47%
Sudut 90	5,000	5,030	0,0300	0,60%
Sudut 100	5,556	5,580	0,0244	0,44%
Sudut 110	6,111	6,110	-0,0011	0,02%
Sudut 120	6,667	6,650	-0,0167	0,25%
Sudut 130	7,222	7,160	-0,0622	0,86%
Sudut 140	7,778	7,690	-0,0878	1,13%
Sudut 150	8,333	8,230	-0,1033	1,24%
Sudut 160	8,889	8,750	-0,1389	1,56%
Sudut 170	9,444	9,270	-0,1744	1,85%
Sudut 180	10,000	9,840	-0,1600	1,60%
			Error rata-rata	5,67%

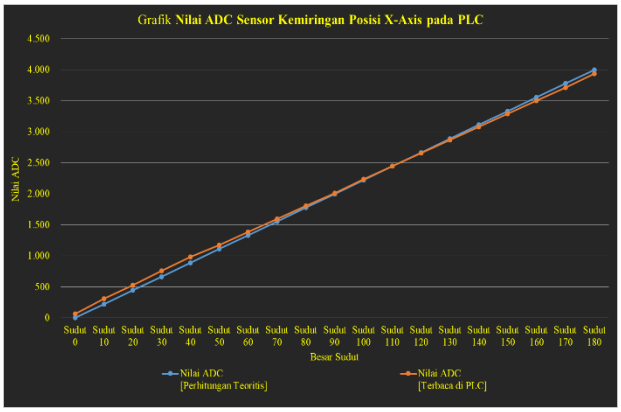


Gambar 16 Grafik pengujian tegangan sensor X-*axis*

TABEL III

Hasil Pengujian Nilai ADC dengan Referensi Sudut Kemiringan

Sudut Pengujian (°)	Nilai ADC [Perhitungan Teoritis]	Nilai ADC [Terbaca di PLC]	Selisih Nilai ADC	*Error*
Sudut 0	0,00	64	64,00	#DIV/0!
Sudut 10	222,22	310	87,78	39,50%
Sudut 20	444,44	527	82,56	18,58%
Sudut 30	666,67	762	95,33	14,30%
Sudut 40	888,89	981	92,11	10,36%
Sudut 50	1.111,11	1.176	64,89	5,84%
Sudut 60	1.333,33	1.382	48,67	3,65%
Sudut 70	1.555,56	1.595	39,44	2,54%
Sudut 80	1.777,78	1.804	26,22	1,48%
Sudut 90	2.000,00	2.013	13,00	0,65%
Sudut 100	2.222,22	2.236	13,78	0,62%
Sudut 110	2.444,44	2.444	-0,44	0,02%
Sudut 120	2.666,67	2.656	-10,67	0,40%
Sudut 130	2.888,89	2.868	-20,89	0,72%
Sudut 140	3.111,11	3.079	-32,11	1,03%
Sudut 150	3.333,33	3.294	-39,33	1,18%
Sudut 160	3.555,56	3.503	-52,56	1,48%
Sudut 170	3.777,78	3.712	-65,78	1,74%
Sudut 180	4.000,00	3.936	-64,00	1,60%
Error rata-rata				5,87%



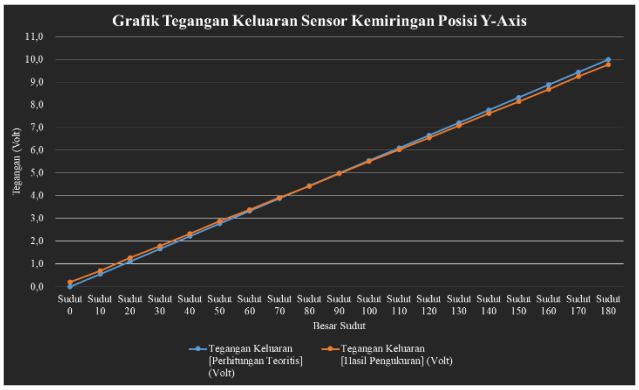
Gambar 17 Grafik pengujian nilai ADC X-*axis*

B. *Pengujian dengan Referensi Sudut Kemiringan Y-Axis*

TABEL IV

Hasil Pengujian Tegangan Sensor dengan Referensi Sudut Kemiringan

Sudut Pengujian (°)	Tegangan Keluaran [Perhitungan Teoritis] (Volt)	Tegangan Keluaran [Hasil Pengukuran] (Volt)	Selisih Pengukuran (Volt)	*Error*
Sudut 0	0,000	0,200	0,2000	#DIV/0!
Sudut 10	0,556	0,710	0,1544	27,80%
Sudut 20	1,111	1,280	0,1689	15,20%
Sudut 30	1,667	1,790	0,1233	7,40%
Sudut 40	2,222	2,330	0,1078	4,85%
Sudut 50	2,778	2,890	0,1122	4,04%
Sudut 60	3,333	3,390	0,0567	1,70%
Sudut 70	3,889	3,920	0,0311	0,80%
Sudut 80	4,444	4,430	-0,0144	0,33%
Sudut 90	5,000	4,980	-0,0200	0,40%
Sudut 100	5,556	5,520	-0,0356	0,64%
Sudut 110	6,111	6,030	-0,0811	1,33%
Sudut 120	6,667	6,560	-0,1067	1,60%
Sudut 130	7,222	7,080	-0,1422	1,97%
Sudut 140	7,778	7,630	-0,1478	1,90%
Sudut 150	8,333	8,150	-0,1833	2,20%
Sudut 160	8,889	8,680	-0,2089	2,35%
Sudut 170	9,444	9,250	-0,1944	2,06%
Sudut 180	10,000	9,780	-0,2200	2,20%
			Error rata-rata	4,38%

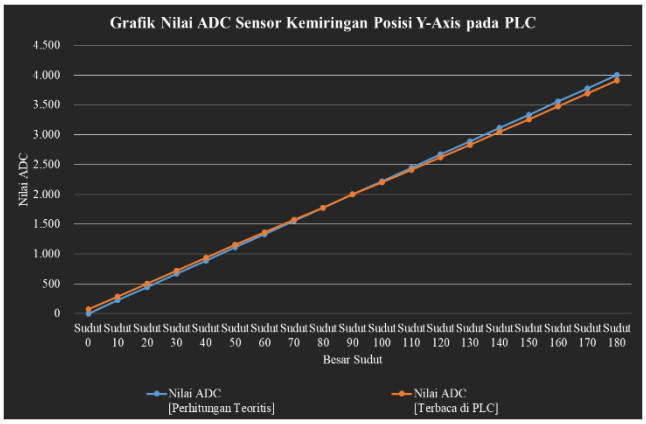


Gambar 18 Grafik pengujian tegangan sensor Y-*axis*

TABEL V

Hasil Pengujian Nilai ADC dengan Referensi Sudut Kemiringan

Sudut Pengujian (°)	Nilai ADC [Perhitungan Teoritis]	Nilai ADC [Terbaca di PLC]	Selisih Nilai ADC	*Error*
Sudut 0	0,00	76	76,00	#DIV/0!
Sudut 10	222,22	287	64,78	29,15%
Sudut 20	444,44	503	58,56	13,18%
Sudut 30	666,67	718	51,33	7,70%
Sudut 40	888,89	938	49,11	5,53%
Sudut 50	1.111,11	1.151	39,89	3,59%
Sudut 60	1.333,33	1.360	26,67	2,00%
Sudut 70	1.555,56	1.570	14,44	0,93%
Sudut 80	1.777,78	1.774	-3,78	0,21%
Sudut 90	2.000,00	1.998	-2,00	0,10%
Sudut 100	2.222,22	2.204	-18,22	0,82%
Sudut 110	2.444,44	2.412	-32,44	1,33%
Sudut 120	2.666,67	2.624	-42,67	1,60%
Sudut 130	2.888,89	2.826	-62,89	2,18%
Sudut 140	3.111,11	3.046	-65,11	2,09%
Sudut 150	3.333,33	3.257	-76,33	2,29%
Sudut 160	3.555,56	3.472	-83,56	2,35%
Sudut 170	3.777,78	3.695	-82,78	2,19%
Sudut 180	4.000,00	3.912	-88,00	2,20%
			Error rata-rata	4,41%



Gambar 19 Grafik pengujian nilai ADC Y-*axis*

V. KESIMPULAN

Dari hasil pembuatan dan pengujian rancang bangun alat monitoring kemiringan ekskavator ini, dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut.

1. Komponen alat yang digunakan yaitu PLC FX3G-24MR-ES, modul *analog input* FX2N-2AD, HMI VT3-V7 dan sensor kemiringan BWK220 dapat bekerja sesuai rancangan yang diharapkan.
2. Sensor BWK220 yang digunakan pada alat ini, dapat mengeluarkan tegangan yang linier sesuai sudut kemiringannya dan terbaca dengan baik oleh PLC untuk ditampilkan secara *realtime*.
3. *Parameter setting* batas maksimal kemiringan dan batas alarm aktif dapat ditentukan nilainya melalui HMI.
4. Perekaman dan pencatatan waktu ketika ekskavator melebihi batas maksimal kemiringannya dapat terlihat melalui HMI.
5. Histori alarm juga dapat terlihat jelas melalui HMI.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih banyak disampaikan kepada seluruh Dosen dan semua civitas di Sekolah Tinggi Teknik Duta Bangsa, sehingga karya ilmiah ini dapat selesai dengan tepat waktu.

REFERENSI

[1] *Buku Pedoman Penulisan Skripsi*. 2022. Bekasi : Sekolah Tinggi Teknologi Duta Bangsa.

[2] *User's Guide FX2N-2AD Special Function Block*. 2016. Tokyo : Mitsubishi Electric.

[3] *Touch Panel Display VT3 Series Data Storage Terminal DT Series PLC Connection Manual*. 2013. Osaka : Keyence Corporation.

[4] Aditya Putu Pramana. 2018. *Analisa Performansi Swing Machinery pada Excavator Komatsu PC200-8*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.

[5] Rio Aji Windarto. 2019. *Analisa Kerusakan Swing System pada Unit Excavator Komatsu PC200-8*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.

[6] Mahfuddin Hanif. 2017. *Analisa Mekanisme Swing Device pada Excavator Keihatsu 921C*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta

[7] Rafiuddin Syam. 2013. *Dasar-Dasar Teknik Sensor*. Makassar : Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

[8] Sri Melati, Siti Khotijah dan Rini Amalia. 2013. Pengkonversian Data Analog Menjadi Data Digital dan Data Digital Menjadi Data Analog Menggunakan Interface PPI 8255 dengan Bahasa Pemrograman Borland Delphi 5.0. *Jurnal Ilmiah Universitas Indraprasta PGRI.*

[9] Muh Pauzan dan Indri Yanti. 2019. Penggunaan Pin ADC (Analog to Digital Converter) pada Mikrokontroler ATmega8535 untuk Menghasilkan Catu Daya Digital. *Jurnal Ilmiah Universitas Wiralodra*, Vol. 11, No. 2.

[10] Muhammad Ulin Nuha, Hari Arief Dharmawan dan Setyawan Purnomo Sakti. 2022. Desain ADC SAR 10-Bit Dua Kanal Simultan menggunakan Board FPGA Altera DE10. *Jurnal Ilmiah Universitas Brawijaya*. Vol. 10, No.1.

[11] *Voltage Dual-Axis Inclinometer Technical Manual BWK220 Serials.* 2021. Wuxi City : Wuxi Bewis Sensing Technology LLC.

[12] Assa'idah dan Yulinar Adnan. 2009. Investigasi Terhadap Kemampuan 2 Tipe ADC. *Jurnal Penelitian Sains Universitas Sriwijaya*, Vol. 12, No. 2B.

[13] https://www.agincourtresources.com/read-agincourt/inilah-fungsi-excavator-tambang-di-lapangan/ (diakses 5 Februari 2021)

[14] http://crizty27.blogspot.com/2013/05/plc-programmable-logic-controller (diakses 14 Februari 2021)

[15] https://www.tptumetro.com/2019/09/jenis-memori-plc-ram-rom-eprom-eeprom.html (diakses 14 Februari 2021)

[16] https://ndoware.com/komponen-penyusun-plc.html (diakses 14 Februari 2021)

[17] https://www.kelasplc.com/pengertian-ladder-diagram-pada-plc/ (diakses 18 Februari 2021)