



Rancang Bangun Sistem Monitoring Muatan Batu Bara Menggunakan Data Logger Berbasis Mikrokontroler Esp32 pada Kapal Bulk Carrier

Bayu Setiono^{1*}, Sonhaji², Samsul Huda³

¹⁻²Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

*Korespondensi penulis: bayusetiono15@gmail.com

Abstract. A conveyor is a tool with a large rubber band arranged transversely between two pulleys at a constant speed as a transporter of solid material in this case coal with the provisions of the permitted amount. Damage to the conveyor tool has a major impact on the smooth running of a coal loading and unloading process, so a coal monitoring tool was designed using an ESP32 microcontroller-based data logger. The purpose of this study is to find out how to design a coal load monitoring tool based on a data logger using the Research and Development (R&D) method type ADDIE. Using the following types of testing: static and dynamic. The research results show that the load monitoring system based on a load cell and ESP32 microcontroller demonstrates high accuracy, with a reading deviation of less than 2% from the actual weight. The system is also considered effective, as it can detect loads, adjust the hatch door angle, and transmit data to Google Spreadsheet in real-time without disruptions. Its ability to adapt to varying loads indicates that the prototype operates stably, responsively, and in accordance with the design objectives.

Keywords: Conveyor, Effectiveness, Loading and Unloading.

Abstrak. Conveyor adalah suatu alat dengan karet pita besar yang tersusun melintang antara dua pulley dengan kecepatan konstan sebagai pengangkut material padat dalam hal ini batu bara dengan ketentuan jumlah yang diijinkan. Kerusakan pada alat conveyor sangat berdampak besar dalam kelancaran suatu proses bongkar muat batu bara, maka dirancanglah alat monitoring batu bara dengan menggunakan data logger berbasis mikrokontroler ESP32. Tujuan penelitian ini adalah dapat mengetahui cara merancang alat monitoring muatan batu bara berbasis data logger dengan menggunakan metode *Research and Development* (R&D) tipe ADDIE. Menggunakan jenis pengujian yaitu : statis dan dinamis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring muatan berbasis load cell dan mikrokontroler ESP32 memiliki tingkat akurasi tinggi dengan deviasi pembacaan kurang dari 2% terhadap berat aktual. Sistem juga dinilai cukup efektif karena mampu mendeteksi beban, mengatur sudut bukaan palka, dan mengirim data ke Google Spreadsheet secara real-time tanpa gangguan. Kemampuan sistem dalam menyesuaikan respon terhadap variasi beban menunjukkan bahwa prototipe bekerja stabil, adaptif, dan sesuai dengan tujuan perancangan.

Kata Kunci: Bongkar Muat, Conveyor, Efektivitas.

1. PENDAHULUAN

Proses pemindahan muatan batu bara yang sering digunakan dalam dunia maritim salah satunya menggunakan sistem conveyor. Pada dasarnya, conveyor adalah suatu alat dengan karet pita besar yang tersusun melintang antara dua pulley dengan kecepatan konstan sebagai pengangkut material padat dalam hal ini batu bara dengan ketentuan jumlah yang diizinkan. Menurut Muhib Zainuri (2006) dalam industri modern, sistem bongkar muatan menggunakan conveyor merupakan salah satu teknologi umum yang digunakan untuk mengangkut barang dari satu tempat ke tempat lain.

Guna meningkatkan efektivitas dari sistem kerja bongkar muat batu bara menggunakan *conveyor*, maka perlu adanya pengawasan secara rutin dalam perawatan sistem *conveyor* itu sendiri. Pentingnya selalu menjaga kesiapan peralatan agar siap beroperasi tidak cukup hanya dilakukan pemeliharaan-pemeliharaan yang bersifat preventive saja, namun perlu adanya *backup* proteksi apabila terjadi kelebihan beban *flow* batu bara. Maka dari itu diperlukan suatu gagasan lain agar potensi kerusakan yang timbul dapat dicegah maupun dihilangkan, karena kerusakan peralatan angkut atau *conveyor* sangat berdampak besar dalam kelancaran suatu proses bongkar muat batu bara, yang tentunya sangat merugikan jika timbul akibat kerusakan pada *conveyor*.

Salah satu penyebab utama kerusakan pada sistem *conveyor* adalah beban muatan yang melebihi kapasitas yang dapat ditopang oleh komponen mekanis, seperti *pulley* dan *bearing*. Untuk mengantisipasi hal ini, diperlukan sistem yang mampu melakukan monitoring secara *real-time* terhadap berat muatan yang dibawa oleh *conveyor*, salah satunya dengan memanfaatkan *data logger*.

Permasalahan ini pernah peneliti alami secara langsung saat melaksanakan kegiatan Praktek Laut (PRALA) di kapal MV. Adhiguna Tarahan. Pada saat proses bongkar muatan batu bara di PLTU Suralaya, terjadi kerusakan pada bagian *bearing pulley conveyor*. Setelah dilakukan pengecekan, kerusakan tersebut disebabkan oleh beban muatan yang melebihi kapasitas, sehingga bearing tidak mampu menopang berat dari *pulley* yang terbebani secara berlebihan. Kejadian ini menunjukkan pentingnya penerapan sistem monitoring beban berbasis sensor, agar kondisi *overload* dapat dideteksi lebih awal dan tindakan pencegahan dapat segera dilakukan sebelum kerusakan terjadi.

Salah satu bentuk penanganan terhadap masalah *overload* pada *conveyor* adalah dengan mengurangi jumlah beban yang melewati sistem *conveyor* agar tidak melebihi kapasitas maksimal yang dapat ditopang oleh komponen mekanis, khususnya *pulley* dan *bearing*. Langkah ini dinilai efektif dalam mencegah kerusakan dini pada sistem *conveyor* dan menjaga keselamatan operasional. Namun, penerapan metode ini memiliki dampak terhadap efisiensi kerja, karena proses bongkar muat menjadi lebih lambat dibandingkan dengan kapasitas normal. Akibatnya, durasi operasi bongkar muat menjadi lebih lama, yang pada gilirannya dapat menghambat jadwal operasional kapal secara keseluruhan. Penundaan ini berpotensi menyebabkan keterlambatan keberangkatan kapal, meningkatnya biaya operasional, serta gangguan pada rantai distribusi logistik, terutama jika kapal terikat pada jadwal bongkar muat di pelabuhan berikutnya. Oleh karena itu, meskipun metode ini bersifat preventif terhadap

kerusakan, tetap diperlukan solusi pendukung seperti sistem monitoring beban otomatis untuk menjaga keseimbangan antara keamanan peralatan dan efisiensi operasional kapal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Rancang Bangun

Rancang bangun sangat berkaitan dengan perancangan sistem yang merupakan menciptakan dan membuat suatu aplikasi ataupun satu kesatuan untuk merancang dan membangun sebuah aplikasi yang belum ada pada suatu instansi atau objek tersebut (Andri Syahputra, 2022). Menurut KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), kata “rancang” merupakan kata dasar dari “merancang” yang berarti mengatur segala suatu (sebelum bertindak, mengerjakan, atau melakukan sesuatu) atau merencanakan.

Batu bara

Batu bara adalah bahan bakar hydro-karbon padat yang terbentuk dari tumbuh-tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen dan terkena pengaruh temperatur serta tekanan yang berlangsung sangat lama (Achmad Prijono, dkk 1992).

Monitoring

Monitoring adalah proses pengamatan secara terus-menerus terhadap pelaksanaan suatu kegiatan untuk memastikan bahwa kegiatan tersebut berjalan sesuai dengan rencana dan tujuan yang telah ditetapkan. (Handoko, 2000). Saat ini, kegiatan monitoring banyak didukung oleh perangkat mikrokontroler yang terhubung dengan berbagai jenis sensor serta dilengkapi teknologi komunikasi seperti *Wi-Fi* atau *Bluetooth*. Hal ini memungkinkan data dari sensor dapat dikirim secara langsung ke perangkat pengguna, seperti komputer, ponsel pintar, atau ke sistem berbasis *cloud*. Pendekatan ini selaras dengan konsep *Internet of Things* (IoT), yaitu keterhubungan antara perangkat fisik melalui jaringan internet untuk saling bertukar data secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung.

Data Logger

Data logger adalah alat elektronik yang digunakan untuk merekam data secara otomatis dalam jangka waktu tertentu, yang biasanya terhubung dengan sensor untuk mengukur parameter fisik seperti suhu, kelembaban, tekanan, dan sebagainya. (Sugeng Riyadi, 2009). Pada sistem monitoring saat ini, *data logger* umumnya terintegrasi dengan mikrokontroler serta modul komunikasi nirkabel seperti *Wi-Fi*, *Bluetooth*, atau *GSM*. Integrasi ini memungkinkan

proses pencatatan dan pengiriman data berlangsung secara otomatis dan *real-time*. Konsep ini sangat berkaitan dengan *Internet of Things* (IoT), di mana perangkat-perangkat saling terhubung dan dapat mentransfer data ke server atau platform *cloud* tanpa keterlibatan langsung dari pengguna.

Conveyor

Conveyor adalah alat transportasi mekanik yang digunakan dalam proses industri untuk mengangkut barang atau bahan dari satu titik ke titik lain secara otomatis. *Conveyor* sering digunakan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam lini produksi dengan mengurangi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk pemindahan material (R. K. Gupta dan S. K. Gupta, 2016). Prinsip kerja *conveyor* relatif sederhana barang atau bahan ditempatkan di atas sabuk atau platform *conveyor*. Motor kemudian menggerakkan sabuk atau elemen-elemen lainnya, yang pada gilirannya memindahkan barang atau bahan dari satu titik ke titik lain.

Load cell

Load cell adalah alat pengukur beban atau gaya yang berfungsi dengan mengubah gaya mekanik yang diterima menjadi sinyal listrik. Biasanya, sensor ini menggunakan strain gauge yang melekat pada elemen elastis untuk mengukur deformasi yang terjadi akibat beban, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal yang dapat dianalisis (William B. Colson, 2009). Pada berbagai aplikasi modern, *load cell* banyak dimanfaatkan dalam sistem penimbangan digital dan pemantauan berat, khususnya dalam bidang manufaktur, logistik, pertanian, dan transportasi.

HX711 Modul

HX711 adalah modul timbangan yang memiliki prinsip kerja mengkonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversinya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada.

ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems. Ini merupakan versi lanjutan dari ESP8266, menawarkan lebih banyak fitur, seperti konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth yang terintegrasi, dan performa yang lebih tinggi. ESP32 sangat cocok untuk aplikasi IoT dan perangkat pintar karena memiliki berbagai fitur seperti CPU dual-core,

berbagai antarmuka komunikasi, dan efisiensi daya yang baik (Rui Santos dan Sara Santos, 2018).

Motor DC

Motor DC adalah suatu motor yang mengubah energi listrik searah menjadi mekanis yang berupa tenaga penggerak torsi. *Motor DC* digunakan dimana kontrol kecepatan dan kecepatan torsi diperlukan untuk memenuhi kebutuhan. Bagian DC yang paling penting adalah *rotor* dan *stator*. Bagian *stator* adalah badan motor, sikat-sikat dan inti kutub magnet. Bagian *rotor* adalah bagian yang berputar dari suatu motor DC.

Servo 360

Servo adalah motor listrik yang digunakan dalam sistem pengendali umpan balik (feedback) untuk mengatur posisi, kecepatan, atau percepatan. Motor ini bekerja dengan cara mengatur sinyal kontrol yang diterima dari sistem kontrol untuk menghasilkan gerakan yang diinginkan (Ogata 2010).

Google Spreadsheet

Google Spreadsheet merupakan aplikasi pengolah data berbasis web yang disediakan oleh Google sebagai bagian dari layanan Google Workspace (sebelumnya dikenal sebagai G Suite). Aplikasi ini memiliki fungsi serupa dengan spreadsheet tradisional seperti Microsoft Excel, namun dilengkapi dengan keunggulan utama berupa kemudahan akses secara daring serta kemampuan kolaborasi waktu nyata (*real-time*).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada model ADDIE, yang merupakan akronim dari *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*. Model ini dipilih karena prosedurnya yang sistematis dan sederhana, namun tetap mengakomodasi semua tahap penting dalam proses pengembangan produk berbasis teknologi. Dalam penelitian ini, model ADDIE diterapkan untuk membangun sistem monitoring muatan batu bara berbasis data logger ESP32 pada kapal bulk carrier. Rencana pengujian yang akan dilakukan pada alat ini yaitu menggunakan dua buah metode pengujian yaitu rencana pengujian statis dan pengujian dinamis.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian/ Uji Coba Produk

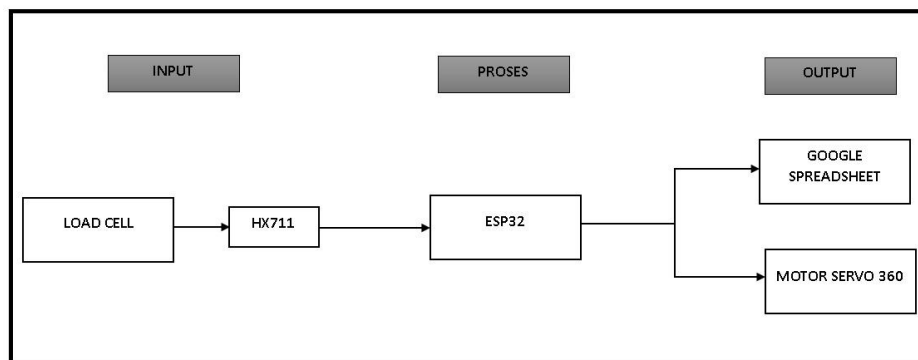
Penyajian Data Uji Coba

Analisis (Analisis)

Tahap analisis merupakan langkah awal dalam metode ADDIE yang bertujuan untuk mengidentifikasi masalah utama dan kebutuhan sistem yang akan dikembangkan. Dalam penelitian ini, peneliti mengamati proses bongkar muat batu bara pada kapal bulk carrier yang masih dilakukan secara manual. Proses manual ini rentan terhadap kesalahan pengukuran berat, ketidakefisienan waktu, dan risiko *overload* muatan yang dapat memengaruhi stabilitas kapal. Berdasarkan temuan ini, dilakukan analisis kebutuhan sistem yang mampu memantau berat muatan secara otomatis, akurat, dan dapat diakses secara *real-time*. Peneliti juga mempelajari teknologi yang relevan seperti mikrokontroler ESP32, sensor *load cell*, modul HX711, serta integrasi dengan *Google Spreadsheet* untuk pencatatan data.

Desain (Design)

1) Perancangan Blok Diagram Sistem



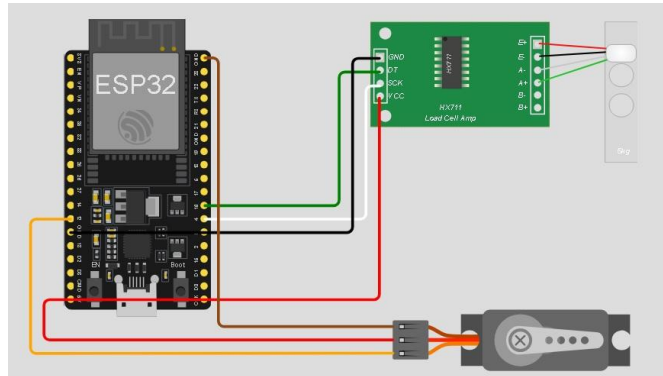
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 1. Blok Diagram

Keterangan perancangan alat :

- Sensor *Load cell* digunakan sebagai alat pendeteksi berat
- HX711 digunakan sebagai transmitter sensor *Load cell*
- ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler
- Google Spreadsheet digunakan untuk menampilkan hasil monitoring
- Motor *servo 360* digunakan untuk menggerakkan pintu palka

2) Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)



Sumber : <https://randomnerdtutorials.com/esp32-load-cell-hx711/>

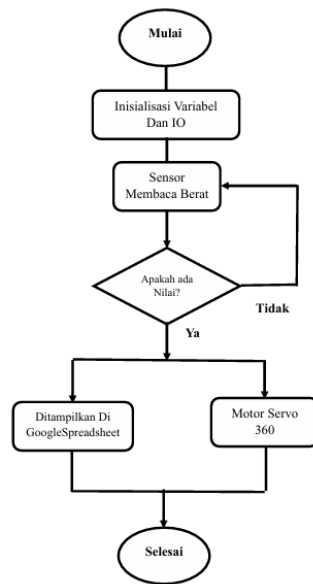
Gambar 2. Wiring Diagram

Pada gambar 2 adalah contoh wiring diagram yang penulis gunakan sebagai acuan perancangan alat, sensor-sensor yang digunakan akan diproses datanya oleh ESP32 adapun penjelasan penempatan pin dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Pin Perancangan Alat

Load Cell	HX711	HX711	ESP32	Servo
MERAH (E+)	E+	GND	GND	GND
BLACK (E-)	E-	DT	GPIO 16	-
WHITE (A-)	A-	SCK	GPIO 4	GPIO 12
GREEN (A+)	A+	VCC	3.3V	3.3V

3) Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3. Flowchart Sistem

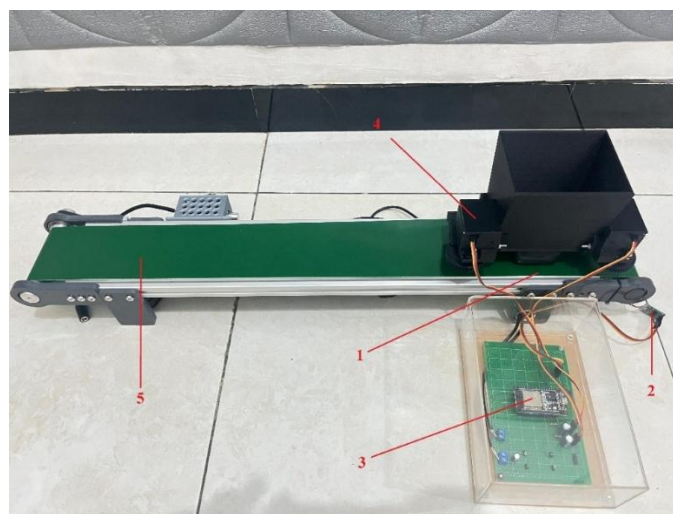
Berdasarkan *flowchart* sistem, awal mula program berjalan dengan menginisialisasi variabel yang ada. Kemudian sensor *Load cell* menerima sinyal input dari berat beban yang diterima ke ESP32. Jika sensor menerima input maka langkah berikutnya adalah menampilkan pada aplikasi *Google Spreadsheet* dan kemudian input tadi menjadi acuan Bergeraknya Motor *Servo 360*. Jika ESP32 tidak menerima input, maka proses akan kembali ke pembacaan sensor berat.

Pengembangan (*Development*)

Tahap pengembangan merupakan fase lanjutan dari proses desain, di mana rancangan sistem yang telah disusun sebelumnya mulai direalisasikan dalam bentuk fisik dan perangkat lunak. Pada tahap ini, seluruh komponen sistem mulai dari perangkat keras hingga perangkat lunak dirakit dan diintegrasikan menjadi satu kesatuan prototipe. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menghasilkan produk awal (prototype) yang siap untuk diuji secara fungsional dalam lingkungan simulasi maupun operasional sebenarnya.

Perakitan Komponen

Perakitan komponen merupakan tahap dimana menggabungkan setiap komponen yang telah diuji dan dalam keadaan baik untuk dirangkai. Selanjutnya menempatkan komponen yang telah dirangkai secara keseluruhan pada suatu box ukuran 19x13x7cm. Adapun tujuan penggunaan box mika yaitu melindungi setiap komponen dan dapat menampung muatan agar terhindar dari kotoran, air, benturan dan gangguan lain dari luar. Perakitan komponen dapat dilihat pada **gambar 4**.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

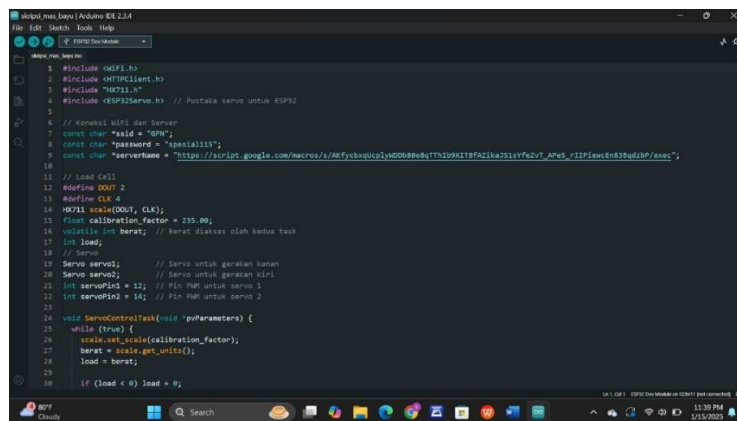
Gambar 4. Perakitan *Hardware*

Keterangan :

- 1) Sensor *load cell*
- 2) Hx711
- 3) ESP32
- 4) *Servo 360*
- 5) Motor DC

Pemrograman software

Pemrograman *software* merupakan sebuah tahapan dalam memberikan perintah atau masukan kepada controller yakni ESP32 untuk dapat bekerja sesuai dengan flowchart sistem. Dimana, ESP32 akan mengolah, membandingkan, dan memproses nilai masukan dari sensor *LOAD CELL* dan memberikan nilai keluaran kepada *Servo 360* dan ditampilkan di laptop atau smartphone melalui aplikasi Google Spreadsheet. Adapun pemrograman dibuat pada Arduino IDE. Penulisan Arduino IDE mengadopsi Bahasa C++. Bahasa C++ adalah bahasa pemrograman tingkat menengah hingga tinggi yang dikembangkan oleh Bjarne Stroustrup pada awal 1980-an sebagai pengembangan dari bahasa C, dengan tambahan fitur pemrograman berorientasi objek (object-oriented programming/OOP). Tampilan halaman Arduino IDE dapat dilihat pada **gambar 5**.



```

1 #include <WiFi.h>
2 #include <HTTPClient.h>
3 #include "HX711.h"
4 #include <ESP32Servo.h> // Pustaka servo untuk ESP32
5
6 // Konfigurasi WiFi dan Server
7 const char *ssid = "GPM";
8 const char *password = "spesial1111";
9 const char *serverName = "https://script.google.com/macros/s/AKfycbaq0c2jy0D088edeTTh30X1T9fA2Ika721stf6vT_Ap6_cIIPJawcEn836d1p/exec";
10
11 // Load Cell
12 #define SDOF 2
13 #define CLK 4
14 HX711 scale(SDOF, CLK);
15 float calibration_factor = 125.00;
16 void setup() { // Servo dikalibrasi oleh kode task
17   int load;
18   // Servo
19   Servo servo1; // Servo untuk gerakan kanan
20   Servo servo2; // Servo untuk gerakan kiri
21   int servoPin1 = 12; // Pin High untuk servo 1
22   int servoPin2 = 14; // Pin High untuk servo 2
23
24   void servoControlTask(void *pParameters) {
25     while (true) {
26       scale.set_scale(calibration_factor);
27       berat = scale.get_units();
28       load = berat;
29
30       if (load < 0) load = 0;

```

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 5. Pemrograman Software

Implementasi (*Implementation*)

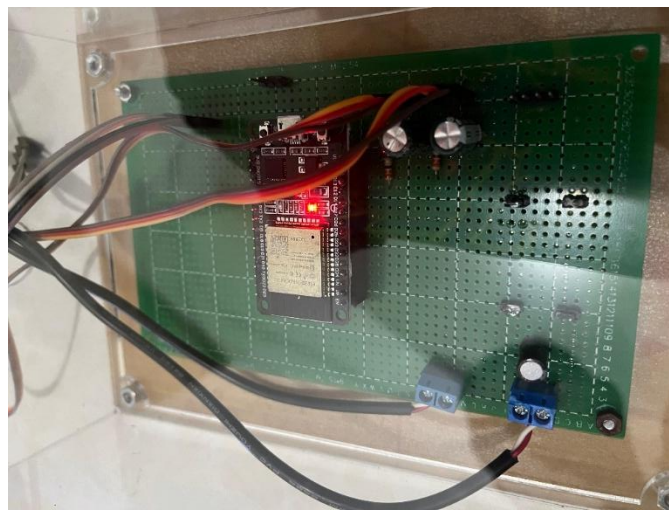
Tahap implementasi merupakan proses penerapan sistem yang telah dikembangkan ke dalam skenario operasional. Tujuan dari tahap ini adalah untuk menguji kinerja prototipe secara langsung dan memastikan bahwa semua komponen perangkat keras dan perangkat lunak dapat berfungsi secara terintegrasi. Pada tahap ini, sistem mulai dijalankan sesuai dengan kondisi

rancang bangun aktual dan dilakukan serangkaian pengujian untuk melihat stabilitas serta keandalan sistem monitoring muatan.

Pengujian Statis

Pengujian Mikrokontroler

Pengujian microcontroller ini menggunakan ESP32 untuk memastikan bahwa microcontroller dapat bekerja dengan normal. Pengujian ini microcontroller diberikan daya yang bersumber dari adaptor dc, sehingga dapat diketahui apakah microcontroller dapat menyala atau tidak ketika diberikan daya. Untuk memastikan apakah microcontroller aktif saat diberikan daya dapat melihat lampu indikator pada microcontroller menyala.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 6. Pengujian Mikrokontroler

Hasil dari pengujian mikrokontroler diatas berjalan sangat baik, ditandai dengan lampu berwarna merah ketika diberi tegangan.

Pengujian Sensor *Load Cell*

Pengujian sensor loadcell dilakukan untuk memastikan kemampuan deteksi sensor terhadap sampel beban yang diuji apakah sensor dapat mendeteksi parameter keakurasian jumlah beban yang diterima dengan baik.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

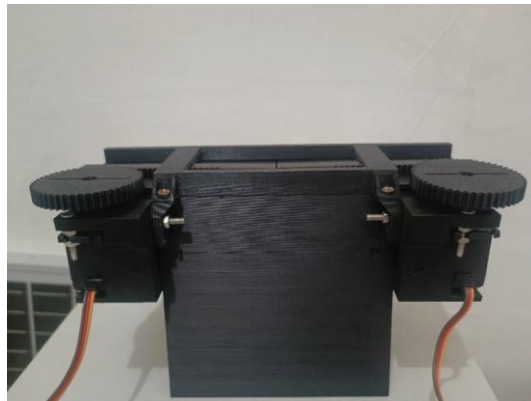
Gambar 7. Pengujian Sensor *Load cell*

Pengujian dilakukan dengan membuat program yang kemudian diunggah pada microcontroller selanjutnya sensor dihubungkan pada microcontroller sesuai dengan pin yang sudah ditentukan dalam program. Selanjutnya sensor diuji dengan cara menggantung beban diatas sensor kemudian akan ditampilkan dalam serial input pada monitor. Proses pengujian sensor dapat dilihat pada **gambar 8**.

Dari pengujian sensor *load cell* diatas menandakan sensor berjalan dengan baik ditandai dari input yang ada pada layar smartphone menunjukkan beberapa hasil input yang dihitung sensor *load cell*.

Pengujian Motor *Servo 360*

Pengujian *Servo 360* dilakukan untuk memastikan kemampuan olah gerak yang dilakukan servo tersebut sesuai dengan nilai yang di input pada beban *load cell*.



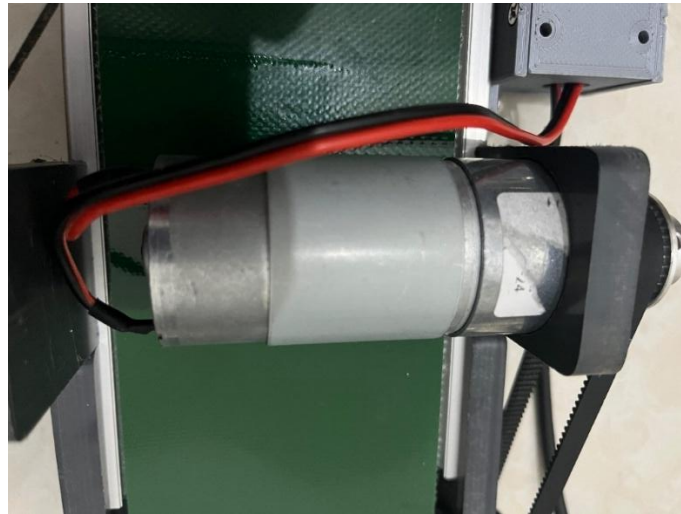
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 8. Pengujian *Servo 360*

Dari pengujian *servo 360* diatas berjalan baik ditandai dengan Bergeraknya *servo 360* ketika diberi *input* pada sensor *load cell*.

Pengujian Motor DC

Pengujian motor dc dilakukan untuk mengetahui apakah motor dc dapat berfungsi secara normal, pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan daya sebesar 12V kepada motor. Hasil pengujian menunjukkan setelah diberikan daya sebesar 12V motor dc menyala dengan normal, dan dengan ini dapat dipastikan motor dc dalam keadaan normal dan siap untuk digunakan.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 9. Pengujian Motor DC

Pengujian Dinamis

Pengujian dinamis dilakukan bertujuan untuk memastikan kinerja prototipe *conveyor* ini apakah dapat berfungsi sesuai dengan yang diinginkan. Hal yang perlu diperhatikan pada pengujian ini adalah sejauh mana keefektifan kinerja sensor yang digunakan yaitu sensor *loadcell* dan *Servo 360*, keefektifan kinerja sistem kontrol, serta keefektifan kinerja mekanis sistem. Sebelum memulai pengujian dinamis keseluruhan prototipe *conveyor*, pertama-tama seluruh komponen baik secara mekanis maupun komponen elektronik seluruhnya dirangkai sesuai dengan rancangan yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut dokumentasi dalam proses pengujian yang telah dilakukan.



Sumber : Dokumentasi Pribadi

Gambar 10. Pengujian Dinamis

Berdasarkan pengujian dinamis yang telah dilakukan, sistem prototipe conveyor menunjukkan kinerja yang akurat dan sesuai dengan tujuan perancangan. Berikut adalah ringkasan hasil pengujian:

- a. Sensor *load cell* mampu mendeteksi perubahan massa muatan secara presisi. Setiap perubahan berat yang ditempatkan pada conveyor terbaca dengan akurasi tinggi, dengan deviasi pembacaan kurang dari 2% dari nilai aktual. Hal ini menunjukkan bahwa sensor telah dikalibrasi dengan baik dan dapat digunakan untuk memantau berat muatan secara *real-time*.
- b. Motor servo 360° berfungsi secara optimal dalam mengatur pergerakan conveyor. Kecepatan dan arah rotasi motor dapat dikendalikan dengan tepat melalui sistem kontrol, tanpa mengalami keterlambatan atau gangguan mekanis.
- c. Sistem kontrol berbasis mikrokontroler ESP32 bekerja secara responsif dan stabil. Proses pembacaan data dari sensor serta pengendalian aktuator berjalan simultan tanpa adanya jeda yang signifikan. Selain itu, komunikasi data antar komponen berjalan dengan lancar tanpa kehilangan paket data.
- d. Dari aspek mekanis, seluruh struktur conveyor berfungsi dengan baik. Pergerakan belt conveyor berlangsung mulus dan tidak terjadi selip atau getaran yang berlebihan. Penempatan dan pemasangan komponen telah sesuai sehingga mendukung stabilitas sistem saat beroperasi.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem prototipe conveyor telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang dirancang. Kinerja sensor, aktuator, dan sistem

kontrol telah terintegrasi dengan baik, mendukung akurasi serta keandalan sistem dalam memantau dan mengelola muatan batu bara secara otomatis.

Evaluasi (Evaluation)

Tahap evaluasi merupakan bagian akhir dari proses pengembangan sistem yang bertujuan untuk menilai sejauh mana sistem yang telah dirancang dan diimplementasikan mampu berfungsi secara efektif dan sesuai dengan tujuan awal. Evaluasi ini mencakup dua aspek utama, yaitu penyajian data dan analisis data.

Analisa Data

Tabel 2. Penyajian Data

No.	Tanggal & Waktu	Satuan Berat	Sudut Pada Servo
1	17/01/2025 21:11:03	0 gram	40°
2	17/01/2025 21:11:31	690 gram	12.40°
3	17/01/2025 21:11:46	1865 gram	0.00°
4	17/01/2025 21:12:00	755 gram	9.80°
5	17/01/2025 21:12:14	14 gram	39.44°
6	17/01/2025 21:12:40	20 gram	39.20°
7	17/01/2025 21:13:23	50 gram	38.00°
8	17/01/2025 21:13:55	1206 gram	0.00°
9	17/01/2025 21:14:05	198 gram	32.08°
10	17/01/2025 21:14:44	4 gram	39.84°

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pada **tabel 2** telah ditampilkan berbagai hasil pengujian dengan beberapa beban yang berbeda, kemudian berat tersebut dikonversi menjadi sudut sebagai acuan berapa derajat pintu palka akan membuka. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa semakin berat muatan yang dideteksi oleh sensor *load cell* maka semakin kecil pintu yang dibuka oleh palka. Sebaliknya jika semakin kecil beban yang terbaca oleh sensor *load cell*, maka semakin besar pintu palka akan membuka. Hal tersebut sudah sesuai dengan keinginan penulis. Pengkonversian tersebut didapat dengan algoritma sebagai berikut :

$\text{float angle} = (\text{load} / 1000.0) * 40$ (Berat 0-1000 gram \rightarrow Sudut 0°-40°)

$\text{sudut} = 40 - \text{float angle}$

Diketahui :

Float angle : sudut yang ditetapkan

Load : berat yang diterima *Load cell*

Sudut = hasil konversi

Merujuk pada data yang disajikan pada **tabel 4.2** yang selanjutnya data tersebut dianalisa untuk mengetahui bagaimana tingkat keefektifan kinerja dari sistem *conveyor* untuk mengurangi beban *overload* pada *conveyor* itu sendiri. Setelah dilakukan pengujian, hasil dari deteksi sensor berat *loadcell* yang mampu menunjukkan parameter data yang akurat ketika dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa prototipe sistem *conveyor* ini bekerja dengan cukup efektif sesuai dengan desain awal.

Tabel 3. Hasil Analisis Data

No.	Berat (gram)	Sudut Servo (°)	Analisis Respon
1	0	40.00	Posisi awal, tanpa beban
2	690	12.40	Beban sedang, sudut mengecil drastis, indikasi sistem aktif
3	1865	0.00	Beban besar, servo ke posisi maximum untuk mengatur keseimbangan atau pembuangan
4	755	9.80	Beban sedang-berat, sistem tetap menyesuaikan sudut kecil
5	14	39.44	Beban ringan, servo kembali hampir ke posisi awal
6	20	39.20	Beban ringan, respon stabil
7	50	38.00	Beban ringan, respon logis
8	1206	0.00	Beban berat, servo menyesuaikan ekstrem
9	198	32.08	Beban ringan-sedang, respon proporsional
10	4	39.84	Beban sangat ringan, hampir tidak ada perubahan sudut

Sistem kontrol dan sensor *loadcell* mampu memberikan hasil yang akurat dan optimal, memastikan *conveyor* dapat menangani berbagai beban secara efektif. Dikatakan akurat ditunjukkan dengan pola logis dan konsisten antara berat dan sudut servo, serta deviasi pembacaan yang rendah, lalu dikatakan optimal dibuktikan dengan respon cepat, stabil, dan adaptif terhadap perubahan berat tanpa menunjukkan error atau ketidaksesuaian. Sistem yang dirancang memastikan berat pada *conveyor* dapat terkendali dengan menyesuaikan input. Hal ini menunjukkan keberhasilan prototipe dalam menjaga kestabilan beban *conveyor*.

Kajian Produk Akhir

Produk akhir dari penelitian ini berupa sistem monitoring muatan batu bara menggunakan *data logger* berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor berat *load cell*, *data logger*, dan sistem otomasi buka-tutup *hatch cover* menggunakan *servo motor 360°*. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan keamanan selama proses bongkar muat batu bara pada kapal bulk carrier. Informasi berat muatan dapat dipantau secara *real-time* melalui koneksi internet, memungkinkan pengawasan jarak jauh oleh operator kapal. Data yang dihasilkan juga dicatat secara otomatis ke dalam penyimpanan *cloud storage*.

Dalam proses pengembangan, pendekatan ADDIE (*Analisis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) digunakan sebagai acuan. Tahapan tersebut mempermudah peneliti dalam merancang alur sistem secara sistematis, mulai dari analisis kebutuhan alat, perancangan teknis, pembangunan prototipe, implementasi sistem monitoring, hingga evaluasi akhir untuk menilai kelayakan produk. Berdasarkan evaluasi awal, dilakukan revisi berupa penambahan *servo motor 360°* untuk mengatur sistem *hatch cover* secara otomatis. Selain itu, alur kerja sistem diperbarui agar lebih responsif terhadap perubahan berat muatan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu membaca berat muatan secara akurat dengan tingkat deviasi pengukuran di bawah 5%. Mikrokontroler ESP32 berhasil mengirimkan data ke dashboard *google spreadsheet* dengan latensi sangat rendah, serta mampu menyimpan data ke dalam memori secara kontinu. Penambahan *servo 360°* juga berfungsi optimal dalam mengatur buka-tutup *hatch cover* secara otomatis berdasarkan status muatan. Evaluasi terhadap sistem dilakukan oleh tenaga ahli di bidang instrumentasi dan otomasi, yang menilai bahwa perangkat telah memenuhi fungsi utamanya dan siap diuji lebih lanjut dalam skala operasional (Nugroho & Mawardi, 2021).

Dari hasil evaluasi dan pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa produk akhir sistem monitoring ini layak untuk digunakan dalam kegiatan bongkar muat batu bara di kapal *bulk carrier*. Keunggulan utama produk ini terletak pada akurasi sensor, stabilitas komunikasi data nirkabel, dan integrasi sistem otomasi untuk kontrol mekanis. Sistem ini sangat mendukung kebutuhan pemantauan beban yang efektif dan efisien, khususnya pada lokasi kerja yang memiliki potensi risiko overloading tinggi.

Namun demikian, terdapat beberapa keterbatasan pada produk ini. Pertama, sistem monitoring masih bergantung pada kestabilan jaringan internet, sehingga penggunaan di wilayah dengan sinyal lemah dapat menurunkan performa pemantauan. Kedua, uji coba dilakukan dalam skala prototipe laboratorium, sehingga diperlukan pengujian lanjutan di kondisi kapal sesungguhnya. Selain itu, ketahanan komponen servo dan sensor terhadap kondisi ekstrem di laut belum diuji untuk durasi panjang. Hal ini menjadi catatan penting untuk pengembangan lanjutan agar sistem semakin tangguh dan adaptif terhadap lingkungan operasional.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan proses perancangan, pembuatan, serta pengujian terhadap alat *Rancang Bangun Sistem Monitoring Muatan Batu Bara Menggunakan Data Logger Berbasis Mikrokontroler ESP32 pada Kapal Bulk Carrier*, dapat disimpulkan bahwa sistem conveyor yang dirancang bertujuan untuk mengurangi risiko beban berlebih selama proses bongkar muat. Perancangannya membutuhkan pemilihan perangkat keras dan lunak yang tepat, seperti penggunaan sensor *load cell* guna mengukur muatan batu bara secara presisi, serta platform berbasis web untuk memvisualisasikan dan mengelola data. Faktor keamanan data dan kestabilan koneksi internet menjadi elemen penting guna memastikan sistem berjalan efisien dan aman. Hal ini sejalan dengan temuan Siregar & Siregar (2020) yang menekankan pentingnya integrasi sistem monitoring berbasis sensor dan IoT untuk optimalisasi operasi logistik, terutama dalam transportasi maritim. Selain itu, Yuliani & Hakim (2021) juga menyatakan bahwa sistem monitoring *real-time* meningkatkan efisiensi operasional dan memungkinkan pengawasan dari jarak jauh. Untuk memastikan pengukuran yang akurat dan *real-time*, sistem monitoring berbasis Data Logger harus mengintegrasikan teknologi sensor presisi tinggi, seperti *load cell*, serta mampu merekam data secara terus-menerus dan mentransmisikannya melalui jaringan yang stabil, baik internet maupun komunikasi nirkabel. Hartono & Azizah (2024) mendukung bahwa sistem berbasis ESP32 sangat cocok digunakan untuk aplikasi monitoring industri skala besar karena mendukung transmisi data berkelanjutan. Kalibrasi rutin, manajemen data yang sistematis, dan antarmuka visual yang ramah pengguna menjadi aspek pendukung penting, sebagaimana dijelaskan oleh Satrio & Nugroho (2021) bahwa visualisasi yang baik mempermudah proses pengambilan keputusan teknis di lapangan secara cepat dan akurat.

Melalui perancangan dan pengujian prototipe sistem monitoring beban pada conveyor, penulis menyadari bahwa masih terdapat sejumlah kekurangan yang dapat dievaluasi dan dikembangkan lebih lanjut. Disarankan untuk menggunakan sensor dengan tingkat akurasi lebih tinggi dan melakukan pengkalibrasian secara berkala guna memperoleh data pengukuran yang lebih presisi. Hal ini sesuai dengan temuan Wicaksono & Widodo (2020) yang menyatakan bahwa presisi sensor merupakan aspek krusial dalam sistem monitoring industri, karena kesalahan pengukuran dapat berdampak signifikan pada efisiensi sistem. Selanjutnya, pengembangan sistem dapat dilakukan dengan menerapkan metode *fuzzy logic* guna mempermudah interpretasi nilai input dari beban dinamis yang melewati conveyor. Rachmawati et al. (2018) menunjukkan bahwa *fuzzy logic* sangat efektif dalam menangani ketidakpastian nilai input sensor. Di sisi lain, peningkatan pada aspek desain mekanik conveyor

menjadi lebih kompleks dan adaptif juga penting untuk menunjang efisiensi proses bongkar muat. Penambahan sensor pada komponen rawan kerusakan seperti motor penggerak dan bantalan juga direkomendasikan agar sistem mampu melakukan prediksi perawatan (*predictive maintenance*). Rekomendasi ini didukung oleh Puspitasari & Firmansyah (2019) yang membuktikan bahwa sistem monitoring berbasis sensor dapat mengurangi waktu henti mesin dan menurunkan biaya operasional secara signifikan pada sistem conveyor.

DAFTAR PUSTAKA

- Ghoni, W. A. (2019). *Data logging berbasis wireless menggunakan ESP8266* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Fakultas Teknik Elektro Otomasi].
- Handoko, T. H. (2000). *Manajemen*. BPFE-Yogyakarta.
- Hartono, A., & Azizah, L. (2024). Pengembangan dashboard IoT berbasis ESP32 untuk pemantauan muatan. *Jurnal Teknologi dan Inovasi*, 18(2), 90–98. <https://doi.org/10.5678/jti.2024.182>
- Haryati, S. (2012). Research and development (R&D) sebagai salah satu model penelitian dalam bidang pendidikan. *Majalah Ilmiah Dinamika*, 37(1), 15.
- Prijono, A., et al. (1992). Pengertian batubara. <https://ptba.co.id/en/knowledge/index/6/pengertian-batubara>
- Puspitasari, A., & Firmansyah, A. (2019). Monitoring prediktif sistem conveyor berbasis mikrokontroler dan sensor suhu-getaran. *Jurnal Otomasi Industri*, 5(2), 88–94.
- Rachmawati, R., Susilo, R., & Amin, A. (2018). Desain sistem fuzzy untuk kontrol otomatis berbasis beban. *Jurnal Sistem dan Informatika*, 6(1), 55–62.
- Riyadi, S. (2009). *Mikrokontroler AVR ATmega16 pemrograman C dan aplikasinya*. Andi Offset.
- Rumbara, R. D. (2018). Rancang bangun timbangan load cell tipe S. *Metal Indonesia*, 40(1), 34–40. <https://doi.org/10.32423/jmi.2018.v40.34-40>
- Satrio, H., & Nugroho, D. (2021). Desain sistem data logger real-time menggunakan ESP32 dan Firebase untuk pemantauan jarak jauh. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 9(1), 112–120.
- Siregar, R., & Siregar, H. (2020). Rancang bangun sistem monitoring berat barang berbasis mikrokontroler dan load cell. *Jurnal Teknologi Terapan*, 7(3), 76–84.
- Sugiyono. (2013). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sunata, A. R. (2020). Rancang bangun alat penghitung jumlah produksi dengan menggunakan microcontroller load cell berbasis web service (online). *Jurnal Algor*, 1(2). <https://jurnal.buddhidharma.ac.id/index.php/algor/index>

- Syahputra, M. A. (2023). *Rancang bangun monitoring keamanan dan berat muatan pada truk berbasis IoT* [Skripsi, Universitas Medan Area, Fakultas Teknik Elektro].
- Syarif Hidayatullah. (2010). *Rancang bangun alat penghitung jumlah produksi semen berbasis data logger menggunakan sensor infrared* [Proyek Akhir, Jurusan Teknik Elektro, FTI-ITS].
- Wicaksono, A., & Widodo, R. (2020). Optimasi penggunaan load cell dalam sistem timbang otomatis. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 12(2), 34–41.
- Yuliani, A., & Hakim, M. (2021). Implementasi antarmuka visual berbasis web pada sistem monitoring berbasis IoT. *Jurnal Informatika dan Komputer*, 13(2), 50–59.