

Sistem Informasi Prediksi Timeline Pembuatan Kapal Menggunakan Algoritma Multiple Linear Regression

Elicia Sandoval Pane *

* Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Negeri Batam

eliciasandova@gmail.com *

Article Info

Article history:

Received ...

Revised ...

Accepted ...

Keyword:

Sistem Informasi, Multiple Linear Regression, Timeline Pembuatan Kapal, Prototype, Prediksi Durasi Proyek.

ABSTRACT

Ship construction duration estimation at PT Karimun Marine Shipyard still relies heavily on staff experience and subjective judgment, resulting in inconsistent estimates across projects and limited use of historical data as a basis for calculation. This research aims to design and develop a web-based information system to predict ship construction timelines using the Multiple Linear Regression algorithm, with predictor variables comprising ship type, length overall (LOA), width, height, and Gross Tonnage (GT). The system was developed using the Prototype method and built with the Laravel framework, Python for machine learning modeling, and MySQL as the database. The resulting system integrates ship data management, historical data, model training and evaluation, and timeline prediction within a single web application, thereby assisting Quality Control staff and planning personnel in determining project completion duration more objectively and efficiently.

Copyright © 201x Institute of Advanced Engineering and Science.
All rights reserved..

I. PENDAHULUAN

Industri perkapalan merupakan sektor strategis yang mendukung aktivitas maritim dan pertumbuhan ekonomi Indonesia. Oleh karena itu, estimasi timeline pembangunan kapal yang akurat diperlukan untuk membantu perusahaan galangan kapal dalam menyusun jadwal produksi, mengalokasikan sumber daya, dan mendukung pengambilan keputusan selama pelaksanaan proyek.

Penentuan estimasi timeline pembangunan kapal menjadi tantangan karena setiap proyek memiliki karakteristik yang berbeda sehingga durasi pembangunan tidak selalu sama. Oleh karena itu, diperlukan metode yang memanfaatkan data

historis untuk menghasilkan estimasi yang lebih sistematis. Penelitian Velumani et al. (2021) menunjukkan bahwa data historis dapat dimanfaatkan untuk mendukung prediksi durasi proyek, sedangkan penelitian Aligamhe et al. (2025) menerapkan Multiple Linear Regression (MLR) sebagai salah satu metode untuk memprediksi durasi proyek berdasarkan data historis.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan metode Multiple Linear Regression untuk memprediksi durasi proyek dan estimasi waktu produksi. Cheng et al. (2021) menunjukkan bahwa metode ini mampu memperkirakan durasi proyek berdasarkan faktor-faktor yang memengaruhi

waktu penyelesaian. Sementara itu, Heravi dan Eslamdoost (2017) membuktikan bahwa Multiple Linear Regression dapat digunakan untuk mengestimasi durasi proyek dengan tingkat akurasi yang baik melalui hubungan antar variabel.

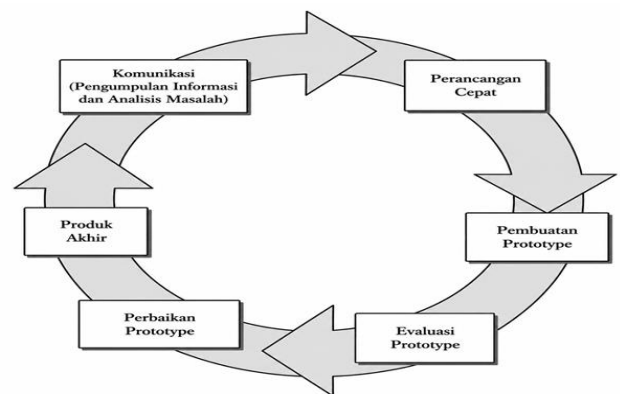
PT Karimun Marine Shipyard memiliki 100 data historis pembangunan kapal yang terdiri atas 49 kapal tugboat dan 51 kapal tongkang. Data tersebut mencakup Length Overall (LOA), Breadth, Depth, Gross Tonnage (GT), serta durasi pembangunan kapal. Namun, data historis tersebut belum dimanfaatkan secara optimal sebagai dasar dalam menghasilkan estimasi pembangunan kapal pada proyek berikutnya.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan Sistem Informasi Prediksi Timeline Pembuatan Kapal menggunakan Algoritma Multiple Linear Regression pada PT Karimun Marine Shipyard. Sistem ini diharapkan mampu memanfaatkan data historis pembangunan kapal untuk menghasilkan estimasi timeline yang lebih akurat sehingga dapat mendukung perencanaan pembangunan kapal secara lebih efektif.

II. METODE

A. Jalannya Penelitian

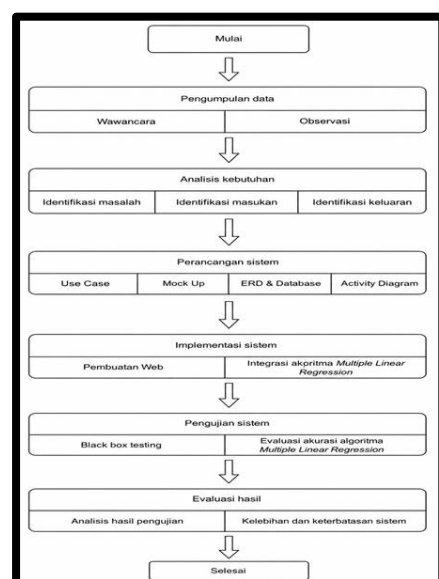
Alur penelitian dimulai dari pengumpulan data melalui wawancara dan observasi, kemudian dilakukan analisis kebutuhan sistem. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem, implementasi algoritma Multiple Linear Regression ke dalam sistem, pengujian sistem menggunakan Black Box Testing serta evaluasi akurasi algoritma, kemudian diakhiri dengan analisis hasil pengujian untuk memperoleh kesimpulan penelitian

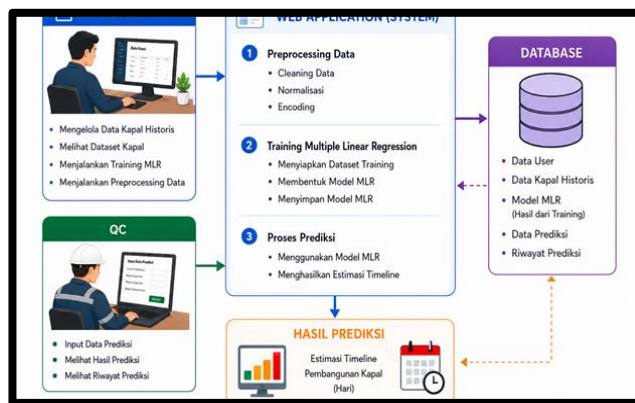


Gambar 2. Metode Prototype

Pengembangan sistem menggunakan metode Prototype. Proses dimulai dari identifikasi kebutuhan dan analisis masalah, kemudian dilanjutkan dengan perancangan serta pembuatan prototype awal. Prototype yang telah dibuat selanjutnya dievaluasi oleh pengguna untuk memperoleh masukan dan perbaikan. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar penyempurnaan sistem hingga sesuai dengan kebutuhan pengguna, kemudian dilanjutkan ke tahap implementasi dan pengujian sistem.

B. Gambaran Umum Sistem.





Gambar 3. Gambaran Umum Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari dua aktor, yaitu Admin dan QC, yang berinteraksi melalui aplikasi web. Admin bertugas mengelola data historis kapal, menjalankan proses preprocessing, dan melakukan training model Multiple Linear Regression menggunakan data historis yang tersimpan di database. Model yang telah terbentuk kemudian digunakan oleh QC untuk melakukan prediksi dengan memasukkan data kapal baru. Seluruh data pengguna, data historis, model hasil pelatihan, data prediksi, dan riwayat prediksi disimpan dalam database, sedangkan hasil akhir sistem berupa estimasi timeline pembangunan kapal dalam satuan hari.

C. Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional merupakan penjelasan rinci mengenai olusi apa yang harus dilakukan oleh perangkat lunak yang akan dibangun untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Dalam perancangan dan visualisasi dashboard olusi e-Rapor ini, olusi memiliki beberapa kebutuhan fungsional seperti berikut:

Kode	Kebutuhan Fungsional
FR-01	Pengguna (Admin, QC) dapat melakukan login.
FR-02	Pengguna (Admin) dapat mengelola data kapal.

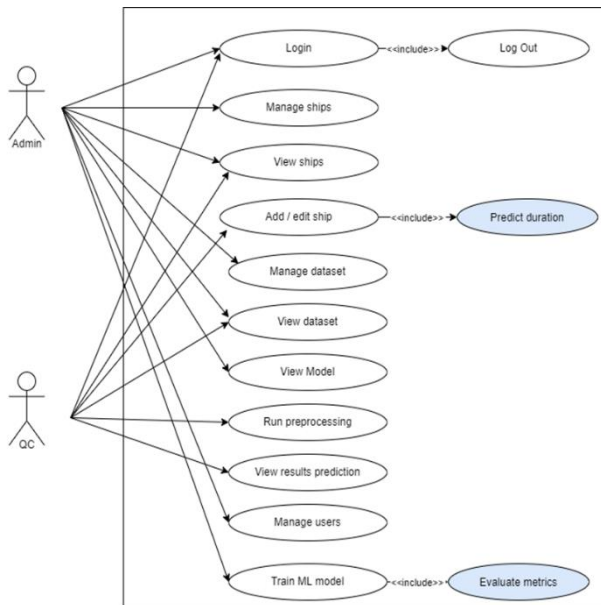
FR-03	Pengguna (Admin, QC) dapat melihat data kapal
FR-04	Pengguna (Admin) dapat mengelola dataset historis pembangunan kapal.
FR-05	Pengguna (Admin) dapat mengelola data pengguna.
FR-06	Pengguna (Admin) dapat melakukan pelatihan model Multiple Linear Regression.
FR-07	Pengguna (Admin) dapat melihat hasil evaluasi model.
FR-08	Pengguna (QC) dapat memasukkan data spesifikasi kapal untuk diprediksi.
FR-09	Pengguna (QC) dapat menjalankan prediksi durasi pembangunan kapal.
FR-10	Pengguna (QC) dapat melihat hasil prediksi durasi pembangunan kapal.
FR-11	FR-11: Pengguna (Admin, QC) dapat melakukan logout.

D. Kebutuhan Non Fungsional

Dalam perancangan dan visualisasi dashboard sistem e-Rapor ini, sistem memiliki beberapa kebutuhan non fungsional seperti berikut:

Parameter	Requirement
Security	Sistem harus menerapkan mekanisme autentikasi serta pengelolaan hak akses untuk menjaga keamanan data pengguna, data kapal, dan dataset pelatihan..
Usability	Sistem harus dapat diakses melalui peramban Google Chrome, Mozilla Firefox, dan Microsoft Edge pada perangkat desktop.
Reliability	Sistem harus mampu beroperasi secara stabil dengan meminimalkan kesalahan pada proses unggah data, pelatihan model, maupun eksekusi prediksi.
Maintainability	Sistem harus mudah dipelihara dan dikembangkan, khususnya pada bagian manajemen dataset serta pembaruan model Multiple Linear Regression..

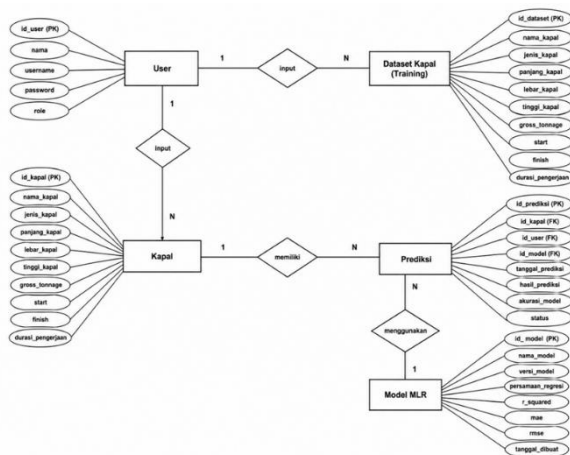
E. Diagram Use Case



Gambar 4. Use Case Diagram

Use Case Diagram merupakan diagram yang menunjukkan fungsionalitas sistem berdasarkan perspektif pengguna dan hubungan antar aktor dengan system

F. Entitas Relational Diagram



Gambar 5. Entitas Relationship Diagram

Entity Relationship Diagram (ERD) pada sistem terdiri dari lima entitas, yaitu User, Dataset Kapal (Training), Kapal, Prediksi, dan Model MLR. Entitas User menyimpan data pengguna yang memiliki hak untuk menginput data dataset

pelatihan maupun data kapal yang akan diprediksi. Dataset Kapal (Training) berisi data historis pembangunan kapal yang digunakan sebagai data pelatihan algoritma Multiple Linear Regression.

Entitas Kapal menyimpan data kapal yang akan diproses untuk prediksi. Selanjutnya, entitas Prediksi menyimpan hasil estimasi timeline pembangunan kapal beserta informasi model yang digunakan. Setiap data prediksi menggunakan satu Model MLR, sedangkan satu model dapat digunakan untuk banyak proses prediksi.

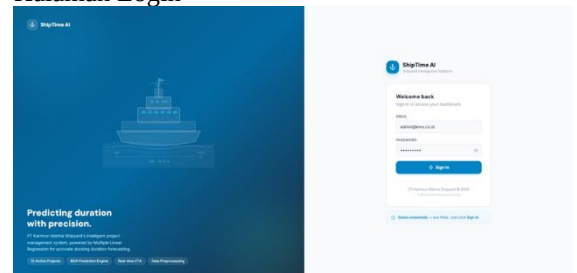
Hubungan antar entitas terdiri dari relasi satu ke banyak (1:N), yaitu User dengan Dataset Kapal, User dengan Kapal, Kapal dengan Prediksi, serta Model MLR dengan Prediksi. Struktur ini memungkinkan pengelolaan data historis, proses pelatihan model, dan penyimpanan hasil prediksi secara terintegrasi dalam sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi

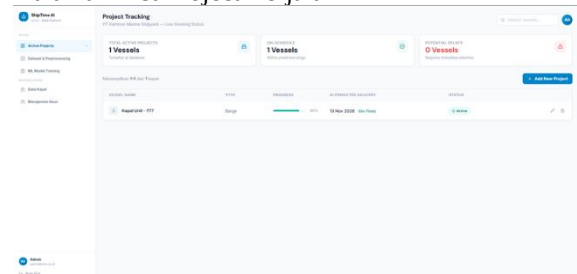
Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem informasi prediksi timeline pembuatan kapal berhasil dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna dan mampu menjalankan proses prediksi menggunakan algoritma Multiple Linear Regression dengan baik.

1. Halaman Login



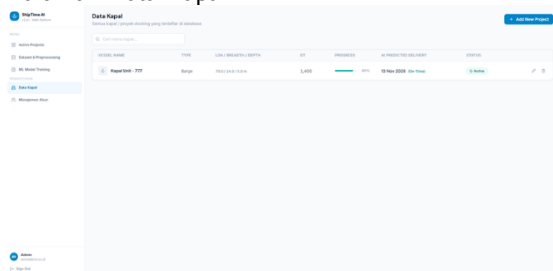
Gambar 6. Halaman Login

2. Halaman List Project Berjalan



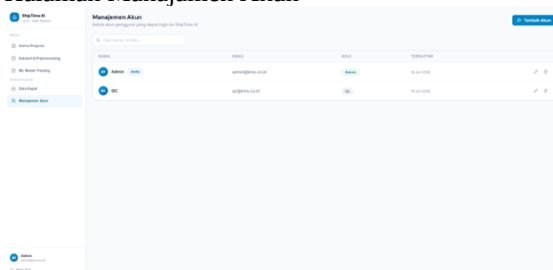
Gambar 7. Halaman List Project Berjalan

3. Halaman Data Kapal



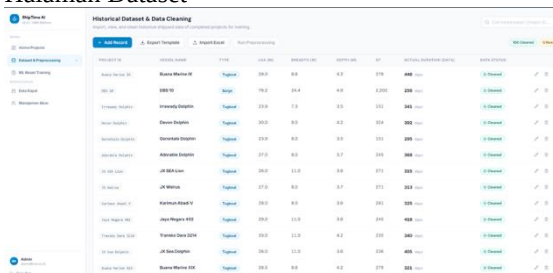
Gambar 8. Halaman Data Kapal

4. Halaman Manajemen Akun



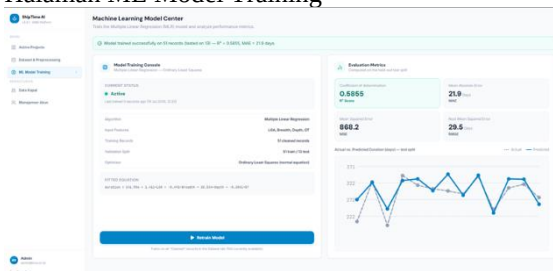
Gambar 9. Halaman Manajemen Akun

5. Halaman Dataset



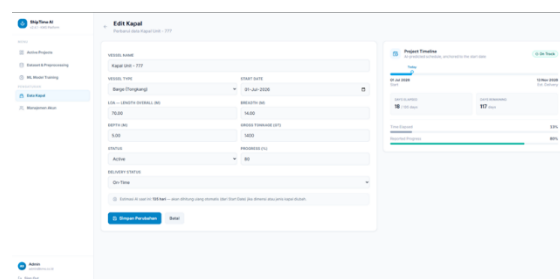
Gambar 10. Halaman Dataset

6. Halaman ML Model Training



Gambar 11. Halaman ML Model Trainig

7. Halaman Edit Kapal / Hasil Prediksi



Gambar 12. Halaman Edit Kapal / Hasil Prediksi

B. Hasil Analisis

1) Pengumpulan dan Pemilihan Sampel Data Penelitian

Dataset penelitian bersumber dari data historis proyek pembangunan kapal pada PT Karimun Marine Shipyard yang berjumlah 100 proyek, terdiri atas 49 kapal jenis tugboat dan 51 kapal jenis tongkang. Setiap data mencatat jenis kapal, panjang (Length Overall/LOA), lebar (Breadth), tinggi (Depth), Gross Tonnage (GT), serta durasi pengerjaan. Mengingat jumlah data historis yang besar, perhitungan manual algoritma Multiple Linear Regression pada bagian ini hanya menampilkan sepuluh data sampel yang dipilih berdasarkan kelengkapan atribut, yaitu lima data kapal tugboat dan lima data kapal tongkang, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel Data Historis Pembangunan Kapal

No	Jenis Kapal (X1)	Panjang/LOA (X2)	Lebar (X3)	Tinggi (X4)	GT (X5)	Durasi (Y)
1	0 (Tugboat)	26	11	3.6	236	405
2	0 (Tugboat)	23.9	7.3	3.5	151	312
3	0 (Tugboat)	23.9	8	3.5	217	305
4	0 (Tugboat)	30	9	4.2	324	303
5	0 (Tugboat)	30	9	4.2	324	325
6	1 (Tongkang)	70.1	24.38	4.88	2800	430
7	1 (Tongkang)	70.1	22.56	4.88	2500	195
8	1 (Tongkang)	91.44	27.43	6.1	4000	218
9	1 (Tongkang)	70.1	23.16	4.57	2700	186
10	1 (Tongkang)	36.58	12.19	2.44	250	188

Berdasarkan Tabel 1, kapal tongkang secara umum memiliki dimensi dan GT yang jauh lebih

besar dibandingkan tugboat, namun perbedaan ukuran tersebut tidak selalu diikuti oleh perbedaan durasi pengerjaan yang sebanding, sehingga durasi pembangunan kapal diduga dipengaruhi oleh lebih dari satu variabel secara bersamaan. Hal inilah yang mendasari penggunaan metode Multiple Linear Regression untuk memodelkan hubungan antara kelima variabel independen tersebut dengan durasi pengerjaan kapal.

2) Preprocessing Data

Sebelum data digunakan untuk membentuk model regresi, dilakukan tahap preprocessing yang meliputi lima langkah, yaitu pengecekan missing value, pengecekan duplikasi data, validasi tipe data numerik, pembentukan variabel independen, dan pembentukan variabel dependen. Hasil preprocessing menunjukkan bahwa seluruh data sampel pada Tabel 1 berada dalam kondisi lengkap, konsisten, dan dinyatakan valid sehingga dapat langsung digunakan pada tahap perhitungan model.

3) Perhitungan Manual Algoritma Multiple Linear Regression

Perhitungan manual dilakukan menggunakan pendekatan aljabar matriks Ordinary Least Squares, yaitu $\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y$, dengan memanfaatkan sepuluh data sampel yang telah divalidasi. Matriks X disusun berukuran 10×6 dengan menambahkan kolom intercept bernilai 1, kemudian dihitung transpose X^T , hasil perkalian $X^T X$ berukuran 6×6 , invers matriks $(X^T X)^{-1}$, serta vektor $X^T Y$. Perkalian $(X^T X)^{-1}$ dengan $X^T Y$ menghasilkan enam koefisien regresi sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Koefisien Regresi Hasil Perhitungan Manual

Koefisien	Variabel	Nilai
β_0	Intercept	134,9097
β_1	Jenis Kapal (X1)	533,6249
β_2	Panjang Kapal (X2)	-45,9099
β_3	Lebar Kapal (X3)	35,6928
β_4	Tinggi Kapal (X4)	274,0900
β_5	Gross Tonnage (X5)	0,2630

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh persamaan regresi $\hat{Y} = 134,9097 + 533,6249X_1 - 45,9099X_2 + 35,6928X_3 + 274,0900X_4 + 0,2630X_5$. Nilai intercept 134,9097 merupakan estimasi dasar durasi pengerjaan ketika seluruh variabel bernilai nol. Koefisien X_1 yang bernilai positif besar menunjukkan bahwa kapal tongkang cenderung memiliki durasi pengerjaan lebih lama dibandingkan tugboat, sejalan dengan ukurannya yang lebih besar. Koefisien X_2 (panjang kapal) bernilai negatif, sedangkan koefisien X_3 , X_4 , dan X_5 bernilai positif, yang mengindikasikan adanya korelasi antarvariabel dimensi kapal (gejala multikolinearitas) yang lazim dijumpai pada data teknis semacam ini.

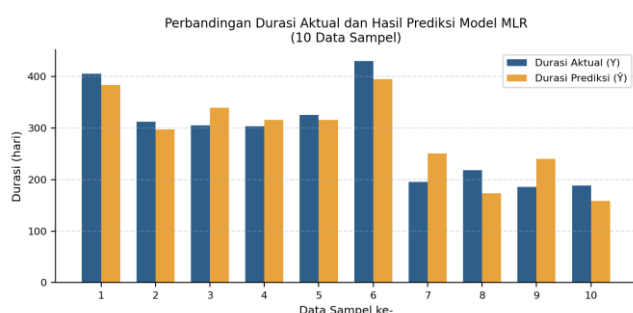
Sebagai ilustrasi penerapan model, dilakukan prediksi terhadap kapal tugboat baru dengan panjang 25 m, lebar 9 m, tinggi 3,7 m, dan GT 240. Substitusi nilai tersebut ke dalam persamaan regresi menghasilkan estimasi durasi pengerjaan sekitar 386 hari, yang masih berada dalam rentang durasi historis kapal tugboat, sehingga menunjukkan bahwa model mampu memberikan estimasi yang realistis.

4) Evaluasi Model

Performa model dievaluasi dengan membandingkan durasi aktual (Y) dan durasi hasil prediksi ($\hat{Y}$) pada kesepuluh data sampel menggunakan empat metrik, yaitu Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), dan Koefisien Determinasi (R^2). Tabel 3 menyajikan nilai prediksi beserta residualnya, sedangkan Gambar 13 memperlihatkan perbandingan durasi aktual dan prediksi secara visual.

Tabel 3. Hasil Prediksi ($\hat{Y}$) dan Residual

No	Y Aktual	Y Prediksi ($\hat{Y}$)	Residual (Y- $\hat{Y}$)	Residual
1	405	382,6688	22,3312	22,3312
2	312	297,2510	14,7490	14,7490
3	305	339,5948	-34,5948	34,5948
4	303	315,2427	-12,2427	12,2427
5	325	315,2427	9,7573	9,7573
6	430	394,4372	35,5628	35,5628
7	195	250,5725	-55,5725	55,5725
8	218	173,5883	44,4117	44,4117
9	186	239,6228	-53,6228	53,6228
10	188	158,7792	29,2208	29,2208

**Gambar 13. Perbandingan Durasi Aktual dan Hasil Prediksi Model MLR**

Jumlah nilai absolut residual pada Tabel 3 adalah 312,0655 sehingga $MAE = 312,0655/10 = 31,2066$ hari. Jumlah kuadrat residual adalah 12212,774 sehingga $MSE = 12212,774/10 = 1221,2774$, dan $RMSE = \sqrt{1221,2774} = 34,9468$ hari. Koefisien determinasi dihitung dari $SS_{res} = 12212,774$ dan $SS_{tot} = 70248,1$, sehingga $R^2 = 1 - (12212,774/70248,1) = 0,8261$ atau 82,61%, yang berarti sekitar 82,61% variasi durasi pengerjaan pada data sampel dapat dijelaskan oleh kelima variabel independen yang digunakan.

Perlu dicatat bahwa nilai evaluasi di atas diperoleh dari sepuluh data sampel yang digunakan sebagai ilustrasi perhitungan manual. Proses pelatihan dan pengujian model pada sistem sesungguhnya dilakukan menggunakan keseluruhan 100 data historis, yang menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,5855, MAE sebesar 21,9 hari, MSE sebesar 868,2, dan RMSE sebesar 29,5 hari sebagaimana disajikan pada bagian Kesimpulan,

sehingga hasil tersebut lebih merepresentasikan kondisi data secara keseluruhan.

5) Analisis Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode Black Box Testing terhadap enam modul utama, yaitu halaman Login, Active Project, Dataset, ML Model Training, Data Kapal, dan Manajemen Akun. Setiap modul diuji terhadap beberapa skenario yang mencakup fungsi autentikasi, pengelolaan data historis, pelatihan model, pengelolaan data kapal, serta pengelolaan akun pengguna.

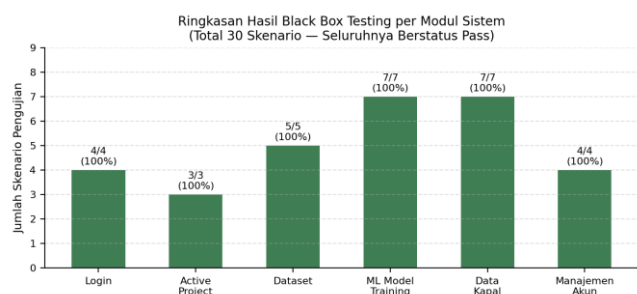
a. Pengujian Halaman Login — hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi autentikasi berjalan sesuai kebutuhan; sistem hanya mengizinkan akses bagi pengguna dengan kredensial yang sah dan menampilkan pesan kesalahan pada input yang tidak valid.

b. Pengujian pada halaman Active Project dan Dataset menunjukkan bahwa seluruh fitur berfungsi dengan baik. Halaman Active Project mampu menampilkan data proyek beserta hasil prediksi durasi penyelesaian, sedangkan halaman Dataset dapat mengelola data historis melalui fitur tambah, impor, ekspor, dan preprocessing sesuai kebutuhan sistem

c. Pengujian Halaman ML Model Training, Data Kapal, dan Manajemen Akun — sistem mampu melatih ulang model, menampilkan persamaan regresi beserta nilai R^2 , MAE, MSE, dan RMSE, memperbarui estimasi prediksi ketika data kapal diubah, serta mengelola data akun pengguna secara penuh.

Tabel 4. Ringkasan Hasil Black Box Testing

Modul	Skenario	Pass	Fail	Persentase
Login	4	4	0	100%
Active Project	3	3	0	100%
Dataset	5	5	0	100%
ML Model Training	7	7	0	100%
Data Kapal	7	7	0	100%
Manajemen Akun	4	4	0	100%
Total	30	30	0	100%



Gambar 14. Ringkasan Hasil Pengujian Sistem per Modul

Berdasarkan Tabel 4 dan Gambar 14, dari 30 skenario pengujian yang dilakukan terhadap enam modul sistem, seluruh skenario memperoleh status Pass tanpa ditemukan kegagalan, dengan persentase keberhasilan pengujian mencapai 100%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem informasi prediksi timeline pembuatan kapal telah berfungsi sesuai dengan rancangan dan kebutuhan pengguna, baik pada aspek pengelolaan data maupun pada aspek pelatihan model dan prediksi durasi pembangunan kapal.

IV. KESIMPULAN

Hasil dari perancangan, implementasi, dan pengujian sistem informasi prediksi waktu pembuatan kapal berbasis web telah disimpulkan. Algoritma regresi ganda telah digunakan untuk memprediksi durasi penyelesaian pembangunan kapal berdasarkan panjang total (LOA), lebar, kedalaman, dan gross tonnage (GT). Sistem yang dibangun memiliki kemampuan untuk mengintegrasikan data proyek, data kapal, dataset historis, proses preprocessing, pelatihan model, dan pengelolaan akun pengguna ke dalam satu aplikasi. Ini membuat proses pengelolaan data dan pemantauan proyek pembangunan kapal menjadi lebih mudah.

Berdasarkan hasil pelatihan model, algoritma regresi ganda menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,5855, nilai Absolute Mean Error (MAE)

sebesar 21,9 hari, nilai Squared Mean Error (MSE) sebesar 868,2, dan nilai Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 29,5 hari. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan yang cukup baik untuk memprediksi durasi penyelesaian pembangunan kapal berdasarkan data historis yang tersedia. Oleh karena itu, model ini dapat digunakan sebagai alat bantu pendukung keputusan dalam memperkirakan waktu penyelesaian proyek sejak tahap perencanaan. Penerapan sistem ini diharapkan dapat membantu staf Quality Control dan pihak manajemen dalam menyusun jadwal pembangunan kapal secara lebih objektif, meningkatkan efisiensi proses perencanaan, serta mengurangi risiko keterlambatan penyelesaian proyek. Meskipun demikian, hasil prediksi tetap perlu dipertimbangkan bersama faktor teknis dan kondisi operasional di lapangan agar estimasi yang dihasilkan lebih akurat dan sesuai dengan pelaksanaan proyek yang sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyelesaian penelitian ini. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penelitian sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak PT Karimun Marine Shipyard yang telah

memberikan kesempatan, informasi, serta dukungan selama proses pengumpulan data dan pengujian sistem Prediksi Timeline ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aligamhe, V. I., Mustapa, M., & Idowu, A. O. (2025). Risk-based predictive modelling for highway project durations in Nigeria using multiple linear regression and artificial neural network. *International Journal of Innovation and Industrial Revolution (IJIREV)*..
- Bruce, P., Bruce, A., & Gedeck, P. (2020). *Practical Statistics for Data Scientists* (2nd ed.). O'Reilly Media.
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R^2 and its use in regression analysis. *Journal of Biomedical Informatics*, 123, 103925.
- Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied regression analysis* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Fox, J. (2016). *Applied regression analysis and generalized linear models* (3rd ed.). Sage Publications.
- Kurniawan, T. B., & Alvino, A. (2023). Multiple linear regression for predicting the ship booking time: A case study at PT. Samudera Indonesia. *Journal of Data Science*.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2022). *Applied linear statistical models* (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis* (6th ed.). Wiley.
- Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., & Wasserman, W. (1996). *Applied linear regression models* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Rawat, A. S., & Choudhary, A. (2023). Multiple linear regression analysis for prediction modeling in engineering applications. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 12(4), 522–529.
- Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30(1), 79–82.
- Freedman, D. A. (2009). *Statistical Models: Theory and Practice*. Cambridge University Press.
- Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., & Wasserman, W. (1996). *Applied Linear Regression Models* (4th ed.). McGraw-Hill.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2022). *Applied Linear Statistical Models* (6th ed.). McGraw-Hill Education.