

PROYEK AKHIR - VS191801

**PREDIKSI *BOX SHIP HOUR* DAN *BOX CRANE HOUR*
MENGUNAKAN REGRESI MULTIVARIAT**

ELINA NORMAYANTI
NRP 10611810000016

Dosen Pembimbing
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.
NIP 19610311 198701 2 001

Ko-Pembimbing
Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.
NIP 19910610 201504 2 001

Program Studi Sarjana Terapan Statistika Bisnis
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



PROYEK AKHIR - VS191801

**PREDIKSI *BOX SHIP HOUR* DAN *BOX CRANE HOUR*
MENGUNAKAN REGRESI MULTIVARIAT**

ELINA NORMAYANTI
NRP 10611810000016

Dosen Pembimbing
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.
NIP 19610311 198701 2 001

Ko-Pembimbing
Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.
NIP 19910610 201504 2 001

Program Studi Sarjana Terapan
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - VS191801

PREDICTION OF BOX SHIP HOUR AND BOX CRANE HOUR USING MULTIVARIATE REGRESSION

ELINA NORMAYANTI
NRP 10611810000016

Advisor

Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.
NIP 19610311 198701 2 001

Co-Advisor

Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.
NIP 19910610 201504 2 001

Program of Applied Undergraduate Study
Departement of Business Statistics
Faculty of Vocations
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

**PREDIKSI BOX SHIP HOUR DAN BOX CRANE HOUR
MENGUNAKAN REGRESI MULTIVARIAT**

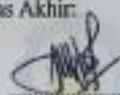
PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar Sarjana Terapan pada
Program Studi Sarjana Terapan Statistika Bisnis
Departemen Statistika Bisnis
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **ELINA NORMAYANTI**
NRP. 10611810000016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

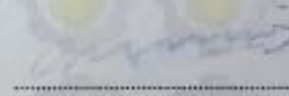
Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.
Pembimbing



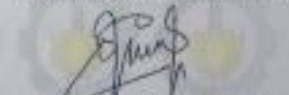
Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.
Ko-Pembimbing



Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si.
Pengaji 1



Dwi Endah Kusriani, S.Si., M.Si.
Pengaji 2



SURABAYA
Juli, 2022

APPROVAL SHEET

**PREDICTION OF BOX SHIP HOUR AND BOX CRANE HOUR
USING MULTIVARIATE REGRESSION**

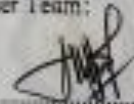
FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
For obtaining a degree of Applied Bachelor at
Undergraduate Study Program of Applied Bachelor
Department of Business Statistics
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


By: **ELINA NORMAYANTI**
NRP. 10611810000016

Approved by Final Project Examiner Team:

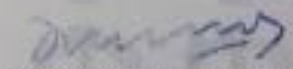
Dr. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.
Pembimbing



Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.
Ko-Pembimbing



Dr. Wahyu Wibawa, S.Si., M.Si.
Penguji 1



Dwi Endah Kusriani, S.Si., M.Si.
Penguji 2



SURABAYA
July, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Elina Normayanti/10611810000016
Departemen : Statistika Bisnis
Dosen Pembimbing/NIP : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T. / 19610311 198701 2 001
Ko-Pembimbing/NIP : Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si. / 19910610 201504 2 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Prediksi *Box Ship Hour* dan *Box Crane Hour* Menggunakan Regresi Multivariat" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing

(Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.)
NIP. 19610311 198701 2 001

Ko-Pembimbing

(Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.)
NIP. 19910610 201504 2 001

Mahasiswa,

(Elina Normayanti)
NRP. 10611810000016

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student /NRP : Elina Normayanti/10611810000016
Departement : Business Statistics
Advisor/NIP : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T. / 19610311 198701 2 001
Co-Advisor/NIP : Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si. / 19910610 201504 2 001

hereby declare that the Final Project with the title of "Prediction of *Box Ship Hour* and *Box Crane Hour* Using Multivariate Regression" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 2022

Acknowledged
Advisor



(Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.)
NIP. 19610311 198701 2 001

Co-Advisor



(Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.)
NIP. 19910610 201504 2 001

Student,



(Elina Normayanti)
NRP. 10611810000016

PREDIKSI *BOX SHIP HOUR* DAN *BOX CRANE HOUR* MENGUNAKAN REGRESI MULTIVARIAT

Nama Mahasiswa/NRP : Elina Normayanti/10611810000016
Departemen : Statistika Bisnis FV-ITS
Dosen Pembimbing : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.
Ko-Pembimbing : Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.

Abstrak

Box Ship Hour (BSH) dan *Box Crane Hour* (BCH) merupakan indikator yang digunakan PT. XYZ untuk mengukur produktivitas bongkar muat. Selama tahun 2021, kapal-kapal yang bersandar di dermaga internasional yang mencapai target BCH dan BSH hanya 45%. Prediksi dilakukan untuk membantu perusahaan dalam mengalokasikan kapal ke dermaga lain atau menentukan alat tambahan yang akan digunakan apabila nilai yang diprediksi tidak mencapai target. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memprediksi nilai BCH dan BSH berdasarkan model yang terbentuk dengan menggunakan regresi multivariat. Hasil prediksi yang diperoleh diharapkan dapat membantu perusahaan mengalokasikan kapal ke dermaga lain dan menentukan alat tambahan yang akan digunakan apabila nilai BCH dan BSH yang diprediksi tidak mencapai target. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebanyak 56,15% kapal memiliki BSH di bawah target dan 56,65% kapal memiliki BCH di bawah target. Hasil analisis regresi multivariat menunjukkan bahwa model regresi yang terbentuk mampu menjelaskan variabel BSH dan BCH sebesar 94%, dimana model tersebut mampu memprediksi dengan rata-rata kesalahan sebesar 5,5 *box/jam* untuk BSH dan 2,6 *box/jam* untuk BCH.

Kata kunci : Bongkar Muat, Box Crane Hour, Box Ship Hour, Prediksi, Regresi Multivariat

PREDICTION OF BOX SHIP HOUR AND BOX CRANE HOUR USING MULTIVARIATE REGRESSION

Student Name/NRP : Elina Normayanti/10611810000016
Departement : Business Statistics FV-ITS
Advisor : Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T.
Co-Advisor : Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si.

Abstrak

Box Ship Hour (BSH) and Box Crane Hour (BCH) are the indicators used by PT. XYZ to measure loading and discharge activities. During 2021, only 45% of all ships at international port reach the target of BCH and BSH. Predictions are made to help the company in allocating ships to other wharf and determining the additional tools to be used if the predicted values of BCH and BSH do not reach the target. The purpose of this research is to predict the value of BCH and BSH based on model using multivariate regression. The prediction results are expected to help the company in allocating ships to other wharf and determining the additional tools to be used if the predicted values of BCH and BSH do not reach the target. The results of the analysis show that 56.15% of ships have BSH below the target and 56.65% of ships have BCH below the target. The results of the multivariate regression analysis showed that the regression model can explain the BSH and BCH by 94%, where the model is able to predict the average error of 5,5 *box*/hour for BSH and 2,6 *box*/hour for BCH.

Keywords: *Box Crane Hour, Box Ship Hour, Loading and Discharge, Multivariat Regression, Prediction*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir yang berjudul “Prediksi *Box Ship Hour* dan *Box Crane Hour* Menggunakan Regresi Multivariat”. Laporan Proyek Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik oleh penulis dengan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Wahyu Wibowo, S.Si., M.Si, selaku kepala Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS sekaligus selaku dosen wali dan dosen penguji.
2. Ibu Dra. Sri Mumpuni Retnaningsih, M.T. selaku dosen pembimbing dan Ibu Iis Dewi Ratih, S.Si., M.Si selaku dosen ko-pembimbing yang telah membimbing penulis dalam menyelesaikan Proyek Akhir.
3. Ibu Dwi Endah Kusriani, S.Si., M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Proyek Akhir ini.
4. Ibu Ratu Sawitri Rizqi Putri, S.Si, selaku pembimbing lapangan dari perusahaan tempat penulis melakukan penelitian.
5. Bapak/Ibu Dosen dan Staf Tata Usaha Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS.
6. Kedua orang tua, yang telah memberikan doa dan motivasi kepada penulis selama proses penulisan Proyek Akhir.
7. Teman-teman mahasiswa Statistika Bisnis angkatan 2018 yang memberikan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan Proyek Akhir.
8. Semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung yang membantu penulis dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xv
KATA PENGANTAR	xix
DAFTAR ISI	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Permasalahan.....	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Penelitian Terdahulu.....	3
2.2. Analisis Regresi Multivariat.....	3
2.2.1. Syarat Regresi Multivariat	4
a. Dependensi Variabel Respon	4
b. Dependensi Variabel Respon	4
c. Multikolinearitas	5
2.2.2. Estimasi Parameter.....	5
2.2.3. Pengujian Parameter	6
a. Pengujian Parameter Secara Serentak	6
b. Pengujian Parameter Secara Parsial	6
2.2.4. Residual Model Regresi	6
2.2.5. Ukuran Kebaikan Model.....	6
a. Koefisien determinasi.....	6
b. Rata-Rata Kesalahan Absolut (<i>Mean Absolute Error</i>).....	7
2.3. PT XYZ	7
BAB III METODOLOGI	9
3.1. Metode Pengumpulan Data	9
3.2. Variabel Penelitian	9
3.3. Metode Penelitian.....	10
3.4. Langkah Analisis.....	10
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
4.1. Karakteristik BSH dan BCH Kapal Dermaga Internasional	13
4.2. Prediksi BSH dan BCH Kapal Dermaga Internasional Menggunakan Regresi Multivariat	17
4.2.1. Syarat Regresi Multivariat untuk Memprediksi BCH dan BSH.....	17
a. Pengujian Distribusi Normal Multivariat Variabel Respon	17
b. Pengujian Dependensi Variabel BSH dan BCH	17
c. Pemeriksaan Multikolinearitas Variabel Prediktor	18
4.2.2. Estimasi Parameter Model Regresi	18
4.2.3. Pengujian Parameter Regresi Multivariat terhadap Variabel BSH dan BCH...	19
a. Pengujian Parameter Regresi terhadap BSH dan BCH Secara Serentak	19
b. Pengujian Parameter Regresi terhadap BSH dan BCH Secara Parsial	19
4.2.4. Model Regresi Multivariat untuk Memprediksi BSH dan BCH.....	20
4.2.5. Pengukuran Kebaikan Model dalam Memprediksi BSH dan BCH.....	20

a. Koefisien Determinasi Model Regresi.....	20
b. <i>Mean Absolute Error (MAE)</i> pada Hasil Prediksi BSH dan BCH	20
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	23
5.1. Kesimpulan	23
5.2. Saran	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN	25

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Diagram Alir	11
Gambar 3.1 Diagram Alir (Lanjutan)	12
Gambar 4.1 Diagram Batang Ketercapaian BSH terhadap Nilai Target	13
Gambar 4.2 <i>Scatterplot</i> BCH dan BSH	15
Gambar 4.3 <i>Scatterplot</i> BSH dan Variabel Prediktor	16
Gambar 4.4 <i>Scatterplot</i> BCH dan Variabel Prediktor.....	16
Gambar 4.5 <i>Q-Q Plot</i> BSH dan BCH	17
Gambar 4.6 Grafik BSH Aktual dan Hasil Prediksi	21
Gambar 4.7 Grafik BCH Aktual dan Hasil Prediksi.....	21

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Variabel Penelitian.....	9
Tabel 3.2 Struktur Data.....	10
Tabel 4.1 Karakteristik BSH dan BCH.....	13
Tabel 4.2 Karakteristik BSH dan BCH yang Tidak Mencapai Target	14
Tabel 4.3 Karakteristik BSH dan BCH Berdasarkan Jenis Kapal	14
Tabel 4.4 Karakteristik BSH dan BCH Berdasarkan Dermaga	15
Tabel 4.5 Nilai VIF Masing-Masing Variabel Prediktor	18
Tabel 4.6 Estimasi Parameter	18
Tabel 4.7 Statistik Uji Parameter	19

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT. XYZ merupakan salah satu terminal petikemas di Indonesia yang melayani kegiatan bongkar muat petikemas domestik maupun internasional. Produktivitas bongkar muat dapat ditinjau dari jumlah petikemas yang dipindahkan dari kapal dalam waktu satu jam yang disebut dengan *Box Ship Hour* (BSH) dan jumlah petikemas yang dapat dipindahkan oleh satu *container crane* dalam waktu satu jam disebut *Box Crane Hour* (BCH) (Supriyono, 2010). Indikator BSH merupakan aspek penting yang ditujukan untuk agen pelayaran karena nilai BSH yang semakin tinggi artinya waktu pelayanan bongkar muat menjadi semakin pendek sehingga akan mempengaruhi waktu sandar dan biaya yang harus dikeluarkan oleh agen pelayaran. Indikator BCH lebih ditujukan untuk kepentingan terminal, karena mengukur kinerja internal terminal petikemas yang ditinjau dari alat yang digunakan untuk proses bongkar muat yaitu *container crane* (Yuwana, 2016).

PT. XYZ memiliki empat dermaga internasional dan satu dermaga domestik. Data kedatangan kapal di tahun 2020 menunjukkan 75% kapal yang bersandar adalah kapal internasional. Standar kinerja pelayanan operasional yang ditetapkan oleh Otoritas Pelabuhan menetapkan target BCH sebesar 26 *box/jam*, sedangkan target BSH sebesar 49 *box/jam* untuk dermaga internasional. Kapal-kapal yang bersandar di dermaga internasional yang mencapai target BCH dan BSH hanya 45%. Nilai BCH yang di bawah target menunjukkan pelayanan bongkar muat yang lama, sehingga dapat menyebabkan keterlambatan keberangkatan kapal. Nilai BSH yang di bawah target menyebabkan agen pelayaran tidak puas dengan pelayanan terminal sehingga dapat berpindah ke terminal yang lain.

PT. XYZ melakukan rapat dengan agen pelayaran satu hari sebelum kapal bersandar untuk membahas rencana tambat dan memperhitungkan nilai BCH dan BSH. Prediksi nilai BSH dapat digunakan perusahaan untuk menginformasikan kepada agen pelayaran yang akan melakukan proses bongkar muat sehingga nilai BSH yang disampaikan dapat mendekati nilai aktual. Prediksi BCH dapat digunakan untuk menentukan alokasi bersandar kapal yang akan melakukan proses bongkar muat di dermaga untuk menghasilkan nilai BCH yang maksimal.

Pada proses bongkar muat, satu kapal dapat dilayani lebih dari satu *container crane*. Jika *container crane* yang digunakan bertambah, maka semakin banyak petikemas yang dapat dipindahkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingginya nilai BSH dapat dipengaruhi oleh BCH. Apabila BCH rendah, maka nilai BSH juga akan rendah.

Model regresi multivariat adalah model hubungan dengan lebih dari satu variabel respon yang saling berkorelasi dan lebih dari satu variabel prediktor (Johnson & Wichern, 2007). Analisis regresi multivariat adalah perluasan dari regresi linear berganda dimana kedua teknik tersebut menunjukkan hubungan linear antara variabel prediktor dan variabel respon (Izenman, 2018). Model regresi dapat digunakan untuk memprediksi observasi baru dari variabel respon berdasarkan nilai dari variabel prediktor (Montgomery & Runger, 2017).

PT. XYZ belum pernah melakukan penelitian terkait dengan prediksi BCH dan BSH, di mana prediksi tersebut dapat digunakan perusahaan untuk menginformasikan kepada agen pelayaran sehingga dapat ditentukan berapa lama kapal melakukan bongkar muat di dermaga.

1.2. Rumusan Permasalahan

Kapal-kapal yang bersandar di dermaga internasional yang mencapai target BCH dan BSH hanya 45%, hal ini menyebabkan keterlambatan keberangkatan kapal karena waktu bongkar muatnya terlalu lama sehingga agen pelayaran tidak puas dengan pelayanan terminal dan

berpindah ke terminal yang lain. Hal tersebut menjadi dasar untuk melakukan prediksi BSH dan BCH berdasarkan model regresi multivariat yang diperoleh.

1.3. Batasan Masalah

PT. XYZ memiliki dermaga domestik dan dermaga internasional di mana 75% kapal melakukan proses bongkar muat di dermaga internasional, oleh karena itu penelitian ini hanya memprediksi BCH dan BSH pada kapal-kapal yang bersandar di dermaga internasional.

1.4. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah memprediksi nilai BCH dan BSH berdasarkan model regresi multivariat yang terbentuk.

1.5. Manfaat

Manfaat penelitian ini bagi perusahaan dapat mengalokasikan kapal ke dermaga lain dan menentukan alat tambahan yang akan digunakan apabila nilai BCH dan BSH yang diprediksi tidak mencapai target.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu tentang produktivitas bongkar muat petikemas pernah dilakukan oleh Gunawan, Suhartono, dan Sianto (2008) tentang faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas bongkar muat kontainer di Dermaga Berlian Surabaya menggunakan metode regresi linear berganda. Hasil dari penelitian adalah jumlah *gank*/kelompok buruh pelabuhan, alat bongkar muat, dan total berat kontainer berpengaruh terhadap produktivitas bongkar muat.

Rahmayanti dan Tirtayadi (2011) melakukan penelitian tentang faktor yang mempengaruhi produktivitas bongkar muat *container* kapal keagenan PT. Mitra Samudra Jaya *Lines* di Jakarta Internasional *Container Terminal* (JICT). Hasil dari penelitian menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas bongkar muat adalah lama waktu kapal di dermaga, kerusakan alat, menunggu truk, dan menunggu muatan.

Kusnoaji (2020) melakukan penelitian tentang lama waktu kapal sandar di terminal petikemas menggunakan metode *regresi spline*. Hasil penelitian diperoleh bahwa lama kapal sandar dipengaruhi oleh jumlah petikemas yang dibongkar dan dimuat serta jumlah *crane* yang bekerja.

Penelitian terdahulu menggunakan metode regresi multivariat dilakukan oleh Chintyana (2020) tentang pemodelan nilai matematika dan ilmu dasar mahasiswa ITS jalur Seleksi Ujian Tulis dengan skor dalam ujian tulis menggunakan metode regresi multivariat. Koefisien determinasi dari model yang dihasilkan sebesar 94,54%.

Penelitian Fauziah (2019) tentang keberhasilan studi mahasiswa jalur Seleksi Ujian Tulis menggunakan regresi multivariat menghasilkan koefisien determinasi sebesar 91% dengan nilai MAE untuk variabel \hat{Y}_1 sebesar 0,3113 dan variabel \hat{Y}_2 sebesar 0,3826.

Penelitian Pratiwi dan Wibowo (2016) tentang pengaruh karakteristik sosial ekonomi terhadap angka harapan hidup dan angka kematian bayi di kabupaten/kota di Jawa Timur menggunakan regresi multivariat menghasilkan koefisien determinasi sebesar 95,82%.

2.2. Analisis Regresi Multivariat

Regresi linear berganda merupakan metode statistika yang digunakan untuk melihat hubungan antara satu variabel respon dan lebih dari satu variabel prediktor (D C Montgomery & Runger, 2017). Analisis regresi multivariat merupakan perluasan dari regresi linear berganda, di mana kedua teknik tersebut menunjukkan hubungan linear antara variabel prediktor dan variabel respon tertentu (Izenman, 2018). Model regresi multivariat adalah model hubungan dengan lebih dari satu variabel respon yang saling berkorelasi dan lebih dari satu variabel prediktor (Johnson & Wichern, 2007). Model regresi multivariat secara umum dinyatakan dalam Persamaan 2.1.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X} \mathbf{B} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.1)$$

$(n \times p)$ $(n \times (q+1))$ $((q+1) \times p)$ $(n \times p)$

Persamaan 2.1 dapat dijabarkan dalam bentuk matriks sebagai berikut.

$$\mathbf{X}_{(n \times (q+1))} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1q} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2q} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nq} \end{pmatrix} \quad \mathbf{Y}_{(n \times p)} = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1p} \\ y_{12} & y_{22} & \cdots & y_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{np} \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{B}_{((q+1) \times p)} = \begin{pmatrix} \beta_{01} & \beta_{02} & \cdots & \beta_{0p} \\ \beta_{11} & \beta_{12} & \cdots & \beta_{1p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \beta_{q1} & \beta_{q2} & \cdots & \beta_{qp} \end{pmatrix} \quad \mathbf{\epsilon}_{(n \times p)} = \begin{pmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \cdots & \epsilon_{1p} \\ \epsilon_{21} & \epsilon_{22} & \cdots & \epsilon_{2p} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \epsilon_{n1} & \epsilon_{n2} & \cdots & \epsilon_{np} \end{pmatrix}$$

Y_m adalah variabel respon ($m = 1, 2, \dots, p$), dan X_j adalah variabel prediktor ($j = 1, 2, \dots, q$). Model regresi untuk pengamatan ke- i ($i = 1, 2, \dots, n$) dan respon ke- m dapat dinyatakan dalam Persamaan 2.2.

$$\begin{aligned} y_{i1} &= \beta_{01} + \beta_{11}x_{i1} + \dots + \beta_{q1}x_{iq} + \epsilon_{i1} \\ y_{i2} &= \beta_{02} + \beta_{12}x_{i1} + \dots + \beta_{q2}x_{iq} + \epsilon_{i2} \\ &\vdots \\ y_{ip} &= \beta_{0p} + \beta_{1p}x_{i1} + \dots + \beta_{qp}x_{iq} + \epsilon_{ip} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Syarat yang harus dipenuhi pada persamaan model regresi yaitu $E(\mathbf{\epsilon}_{(m)}) = \mathbf{0}$ dan $Cov(\mathbf{\epsilon}_{(m)}, \mathbf{\epsilon}_{(k)}) = \sigma_{mk}\mathbf{I}$, di mana $k = 1, 2, \dots, p$ dan $m \neq k$ (Johnson & Wichern, 2007).

2.2.1. Syarat Regresi Multivariat

Syarat yang harus dipenuhi dalam analisis regresi multivariat untuk variabel respon adalah harus dependen dan berdistribusi normal multivariat, sedangkan syarat untuk variabel prediktor adalah tidak terjadi multikolinearitas.

a. Dependensi Variabel Respon

Distribusi normal multivariat merupakan syarat yang harus dipenuhi untuk melakukan analisis regresi multivariat. Pemeriksaan distribusi normal multivariat secara visual dari p variabel respon dapat dilihat melalui $Q-Q$ plot. Langkah-langkah pemeriksaan distribusi normal multivariat menggunakan $Q-Q$ plot adalah sebagai berikut.

1. Menghitung nilai jarak menggunakan Persamaan 2.3.
2. Mengurutkan atau memberi peringkat pada d_i^2 dari yang terkecil sampai terbesar
3. Membuat plot antara $\chi_p^2\left(\left(i - \frac{1}{2}\right)/n\right)$ dengan d_i^2 , dimana $\chi_p^2\left(\left(i - \frac{1}{2}\right)/n\right)$ adalah $\frac{100(i - \frac{1}{2})}{n}$ persentil dari distribusi khi-kuadrat dengan derajat bebas p .
4. Data tersebut dapat dikatakan mengikuti distribusi normal multivariat jika plot antara $\chi_p^2\left(\left(i - \frac{1}{2}\right)/n\right)$ dengan d_i^2 secara berurutan membentuk garis lurus.

Pengujian distribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : variabel respon berdistribusi normal multivariat

H_1 : variabel respon tidak berdistribusi normal multivariat

Statistik uji yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 2.3, apabila proporsi nilai $d_i^2 \leq \chi_p^2(0,5)$ berada di sekitar 50% maka H_0 gagal ditolak atau dapat disimpulkan bahwa variabel respon berdistribusi normal multivariat (Johnson & Wichern, 2007).

$$d_i^2 = (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}})' \mathbf{S}^{-1} (\mathbf{x}_i - \bar{\mathbf{x}}), \quad (2.3)$$

b. Dependensi Variabel Respon

Syarat yang harus dipenuhi untuk melakukan analisis regresi multivariat adalah variabel respon dependen. \mathbf{R} merupakan matriks korelasi dari variabel respon terdiri dari komponen-

komponen yang ditampilkan pada Persamaan 2.4, di mana korelasi dari variabel respon (r_{mk}) dihitung melalui Persamaan 2.5. Variabel y_1, y_2, \dots, y_p dapat dikatakan saling dependen apabila determinan dari matriks korelasi (\mathbf{R}) mendekati nol. Untuk mengetahui y_1, y_2, \dots, y_p adalah variabel yang dependen dapat dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut (Rencher & Christensen, 2012).

$H_0: \mathbf{R} = \mathbf{I}$ (variabel respon independen)

$H_1: \mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (variabel respon dependen)

Statistik uji yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 2.6 dan H_0 ditolak apabila nilai χ^2_{hitung} lebih besar dari $\chi^2_{\alpha, \frac{1}{2}p(p-1)}$.

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1p} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & r_{p2} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

$$r_{mk} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{im} - \bar{y}_m)(y_{ik} - \bar{y}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{im} - \bar{y}_m)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ik} - \bar{y}_k)^2}} \quad (2.5)$$

$$\chi^2_{hitung} = - \left[n - 1 - \frac{1}{6}(2p + 5) \right] \ln |\mathbf{R}| \quad (2.6)$$

c. Multikolinearitas

Multikolinearitas merupakan kondisi di mana terdapat ketergantungan yang kuat antara variabel-variabel prediktor. Multikolinearitas dapat menyebabkan koefisien model regresi tidak dapat diprediksi dengan tepat. Untuk mendeteksi multikolinearitas dilakukan dengan analisis regresi secara univariat, di mana R_j^2 merupakan ukuran hubungan antara variabel prediktor ke- j ($j = 1, 2, \dots, q$) dengan variabel prediktor yang lain. Multikolinearitas dapat dideteksi melalui perhitungan *Variance Inflation Factor* (VIF). Nilai VIF yang lebih dari 10 dapat menunjukkan adanya multikolinearitas antar variabel-variabel prediktor (D C Montgomery & Runger, 2017). Nilai VIF dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 2.7.

$$VIF_j = \frac{1}{(1 - R_j^2)} \quad (2.7)$$

2.2.2. Estimasi Parameter

Estimasi parameter \mathbf{B} dari model regresi pada Persamaan 2.1 menggunakan estimasi *Ordinary Least Square* (Johnson & Wichern, 2007). Estimasi $\hat{\mathbf{B}}$ dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.8. dan matriks residual dapat ditunjukkan pada Persamaan 2.9, di mana \mathbf{B} merupakan matriks yang berisi parameter regresi, \mathbf{X} merupakan matriks variabel prediktor, \mathbf{Y} merupakan matriks variabel respon, $\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}$ merupakan matriks residual, dan \mathbf{I} merupakan matriks identitas.

$$\hat{\mathbf{B}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{Y} \quad (2.8)$$

$$\hat{\boldsymbol{\varepsilon}} = \mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}} = [\mathbf{I} - \mathbf{X}(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}']\mathbf{Y} \quad (2.9)$$

2.2.3. Pengujian Parameter

Pengujian parameter regresi terdiri atas pengujian secara serentak dan pengujian secara parsial. Masing-masing dari pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Pengujian Parameter Secara Serentak

Pengujian parameter secara serentak dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap variabel respon. Statistik uji yang digunakan adalah *Wilk's Lambda* dengan hipotesis sebagai berikut (Rencher & Christensen, 2012).

$H_0: \beta_{01} = \beta_{02} = \dots = \beta_{0p} = 0$ (semua variabel prediktor tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel respon)

H_1 : minimal ada satu $\beta_{jm} \neq 0$, di mana $j = 1, 2, \dots, q$, dan $m = 1, 2, \dots, p$

Statistik uji yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 2.10 dan H_0 ditolak apabila nilai Λ (*Wilk's Lambda*) kurang dari sama dengan $\Lambda_{p,q,n-q-1}$ (nilai dari tabel *Wilk's Lambda*). $\hat{\mathbf{B}}$ merupakan matriks parameter, \mathbf{X} merupakan matriks variabel prediktor, \mathbf{Y} merupakan matriks variabel respon, dan $\bar{\mathbf{y}}$ merupakan vektor rata-rata variabel respon.

$$\Lambda = \frac{|\mathbf{E}|}{|\mathbf{E} + \mathbf{H}|} = \frac{\mathbf{Y}'\mathbf{Y} - \hat{\mathbf{B}}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}}{\hat{\mathbf{B}}'\mathbf{X}'\mathbf{Y} - n\bar{\mathbf{y}}\bar{\mathbf{y}}'} \quad (2.10)$$

b. Pengujian Parameter Secara Parsial

Pengujian parameter secara parsial digunakan untuk menguji apakah variabel prediktor ke- j berpengaruh terhadap variabel respon. Pengujian signifikansi parameter secara parsial dapat dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut. (Rencher & Christensen, 2012)

$H_0: \beta_{jm} = 0$

$H_1: \beta_{jm} \neq 0$, di mana $j = 1, 2, \dots, q$, dan $m = 1, 2, \dots, p$

Statistik uji yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 2.11 dan H_0 ditolak apabila nilai Λ (*Wilk's Lambda*) kurang dari sama dengan $\Lambda_{p,q,n-q-1}$ (nilai dari tabel *Wilk's Lambda*).

$$\Lambda = \frac{|\mathbf{E}|}{|\mathbf{E} + \mathbf{H}|} = \frac{\mathbf{Y}'\mathbf{Y} - \hat{\mathbf{B}}'\mathbf{X}'\mathbf{Y}}{\hat{\mathbf{B}}'\mathbf{X}'\mathbf{Y} - \hat{\mathbf{B}}'_j\mathbf{X}'_j\mathbf{Y}} \quad (2.11)$$

2.2.4. Residual Model Regresi

Model regresi dapat digunakan untuk memprediksi nilai variabel respon dan mengetahui pengaruh antara variabel prediktor terhadap variabel respon (Basuki & Prawoto, 2017). Jika model digunakan untuk mengetahui pengaruh antara variabel prediktor dan variabel respon, maka residual model regresi harus memenuhi syarat identik, independen, dan berdistribusi normal multivariat. Model regresi yang digunakan untuk memprediksi nilai dari variabel respon tidak memerlukan syarat bahwa residual harus identik, independen, dan berdistribusi normal multivariat (Duli, 2019).

2.2.5. Ukuran Kebaikan Model

Kebajikan model regresi multivariat pada data *training* dapat dilihat melalui koefisien determinasi, sedangkan kebaikan model regresi multivariat pada data *testing* dapat dilihat melalui nilai *Mean Absolute Error* (MAE).

a. Koefisien determinasi

Koefisien determinasi adalah suatu ukuran yang digunakan pada model regresi yang digunakan untuk mengukur proporsi variabilitas total yang dapat dijelaskan oleh model.

Nilai koefisien determinasi yang tinggi menunjukkan model yang semakin baik (D C Montgomery & Runger, 2017). Keabakan model dalam analisis regresi multivariat diukur dengan η_{Λ}^2 , di mana dapat mengukur hubungan antara variabel y_1, y_2, \dots, y_p dan x_1, x_2, \dots, x_q dapat dihitung melalui Persamaan 2.12.

$$\eta_{\Lambda}^2 = 1 - \Lambda \quad (2.12)$$

Λ merupakan nilai *Wilk's Lambda*. Nilai η_{Λ}^2 berada pada interval 0-1. Hubungan antara variabel prediktor dan variabel respon akan semakin erat apabila nilai η_{Λ}^2 semakin mendekati 1 (Rencher & Christensen, 2012).

b. Rata-Rata Kesalahan Absolut (*Mean Absolute Error*)

Mean Absolute Error (MAE) digunakan untuk mengukur kesalahan prediksi dengan menghitung rata-rata dari nilai absolut masing-masing residual. Nilai MAE yang kecil menunjukkan bahwa model baik digunakan untuk prediksi (Kulkarni & Satapathy, 2019). Nilai MAE dapat dihitung melalui pada Persamaan 2.13, di mana \hat{Y}_{mi} merupakan nilai hasil prediksi dan Y_{mi} merupakan nilai aktual (Montgomery, Jennings, dan Kulahci, 2015).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\hat{Y}_{mi} - Y_{mi}| \quad (2.13)$$

2.3. PT XYZ

PT. XYZ merupakan terminal petikemas yang melayani bongkar muat petikemas domestik maupun internasional. Petikemas merupakan alat yang digunakan untuk mengangkut barang yang berbentuk seperti peti yang terbuat dari campuran baja dan tembaga. Kegiatan bongkar muat merupakan kegiatan membongkar barang-barang impor atau barang-barang antarpulau dari atas kapal dengan menggunakan *crane* dan *sling* kapal ke dermaga, kemudian dari dermaga dengan menggunakan truk dimasukkan dan ditata ke dalam gudang/lapangan terdekat (Sasono, 2012).

Kegiatan utama di PT. XYZ yaitu kegiatan bongkar petikemas yang diimpor dari kapal yang disebut dengan *discharge*, kegiatan muat petikemas ekspor ke kapal yang disebut dengan *loading*, kegiatan penerimaan petikemas yang disebut *receiving*, dan kegiatan pengeluaran petikemas dari terminal yang disebut *delivery*. (Supriyono, 2010)

Indikator kinerja pelayanan petikemas untuk kegiatan bongkar muat diukur dari *Box Ship Hour* (BSH) dan *Box Crane Hour* (BCH). BSH adalah jumlah petikemas yang dibongkar/ muat perkapal dalam waktu satu jam selama kapal bersandar dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.14. BCH adalah jumlah petikemas yang dibongkar/muat dalam waktu satu jam kerja pada setiap *container crane* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.15.

$$BSH = \frac{\text{jumlah petikemas yang dibongkar/muat}}{\text{waktu sandar kapal}} \quad (2.14)$$

$$BCH = \frac{\text{jumlah petikemas yang dibongkar/muat}}{\text{waktu kerja container crane} \times \text{jumlah container crane}} \quad (2.15)$$

BAB III METODOLOGI

3.1. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu data kapal yang bersandar di dermaga internasional yang diambil dari Departemen Komersial dan Pengembangan Bisnis PT. XYZ tahun 2021 sebanyak 789 kapal yang diperoleh secara langsung dengan melihat laporan harian pada dokumen perusahaan.

Objek penelitian adalah kapal, di mana masing-masing kapal memiliki nilai BCH dan BSH. Data yang digunakan untuk pemodelan (*data training*) yaitu kapal yang bersandar di bulan Januari sampai November sebanyak 721 kapal, sedangkan yang digunakan untuk prediksi (*data testing*) adalah kapal yang bersandar di bulan Desember sebanyak 68 kapal.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dapat disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan	Satuan	Kategori
Y ₁	<i>Box Ship Hour</i> (BSH), yaitu jumlah petikemas yang dibongkar atau dimuat per kapal dalam waktu satu jam selama kapal bersandar.	Box/jam	-
Y ₂	<i>Box Crane Hour</i> (BCH), yaitu jumlah petikemas yang dibongkar atau dimuat dalam satu jam oleh satu <i>container crane</i> .	Box/jam	-
X ₁	Jumlah Bongkar Muat, yaitu jumlah petikemas yang dibongkar dan dimuat dari dermaga ke kapal atau sebaliknya.	Box	-
X ₂	Jumlah <i>Container Crane</i> , yaitu jumlah alat yang digunakan untuk mengangkat petikemas dari kapal ke dermaga atau sebaliknya.	Unit	-
X ₃	Jumlah Palka, yaitu jumlah komponen di kapal yang berfungsi sebagai penutup dari lubang palka yang ada di kapal yang bertujuan untuk melindungi muatan di dalamnya dari kerusakan akibat air laut dan air hujan yang masuk.	Unit	-
X ₄	Waktu sandar, yaitu waktu kapal mulai bersandar sampai kapal meninggalkan dermaga.	Jam	-
X ₅	Panjang Kapal, yaitu panjang keseluruhan kapal yang diukur dari ujung paling depan sampai ujung belakang kapal.	Meter	-
X ₆	Jenis Kapal, terdiri atas kapal <i>direct</i> dan kapal <i>feeder</i> . Kapal <i>direct</i> merupakan kapal yang memiliki muatan petikemas dengan banyak pelabuhan tujuan, sedangkan kapal <i>feeder</i> merupakan kapal yang memiliki muatan petikemas dengan satu pelabuhan tujuan.	-	1: <i>Direct</i> 2: <i>Feeder</i>
X ₇	Dermaga, yaitu struktur bangunan yang dibuat di laut yang dibuat untuk menghubungkan bagian daratan dan pelabuhan yang berfungsi sebagai tempat menambatkan kapal yang akan melakukan kegiatan bongkar muat barang.	-	1: Dermaga 1 2: Dermaga 2 3: Dermaga 3 4: Dermaga 4

Struktur data pada penelitian ini dapat disajikan melalui Tabel 3.2 di mana y_{i1} merupakan BSH pada kapal ke- i , y_{i2} merupakan BCH pada kapal ke- i , dan x_{ij} merupakan variabel prediktor ke- j pada kapal ke- i .

Tabel 3.2 Struktur Data

Kapal	Y_1	Y_2	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6		X_7	
								D_1	D_2	D_3	D_4
1.	y_{11}	y_{12}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	1	1	0	0
2.	y_{21}	y_{22}	x_{21}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{25}	0	0	1	0
3.	y_{31}	y_{32}	x_{31}	x_{32}	x_{33}	x_{34}	x_{35}	1	0	0	1
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
i	y_{i1}	y_{i2}	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}	d_{i1}	d_{i2}	d_{i3}	d_{i4}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
789	$y_{789\ 1}$	$y_{789\ 2}$	$x_{789\ 1}$	$x_{789\ 2}$	$x_{789\ 3}$	$x_{789\ 4}$	$x_{789\ 5}$	0	1	0	0

3.3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk memprediksi BSH dan BCH adalah regresi multivariat karena pada penelitian ini terdapat dua variabel respon yang saling berkorelasi dan tujuh variabel prediktor.

Pembentukan model regresi multivariat dilakukan dengan data *training*, kemudian model yang diperoleh digunakan untuk memprediksi BSH dan BCH dengan mensubstitusikan *data testing*.

Rata-rata kesalahan prediksi dihitung dari nilai *Mean Absolute Error* (MAE) karena memudahkan dalam hal interpretasi.

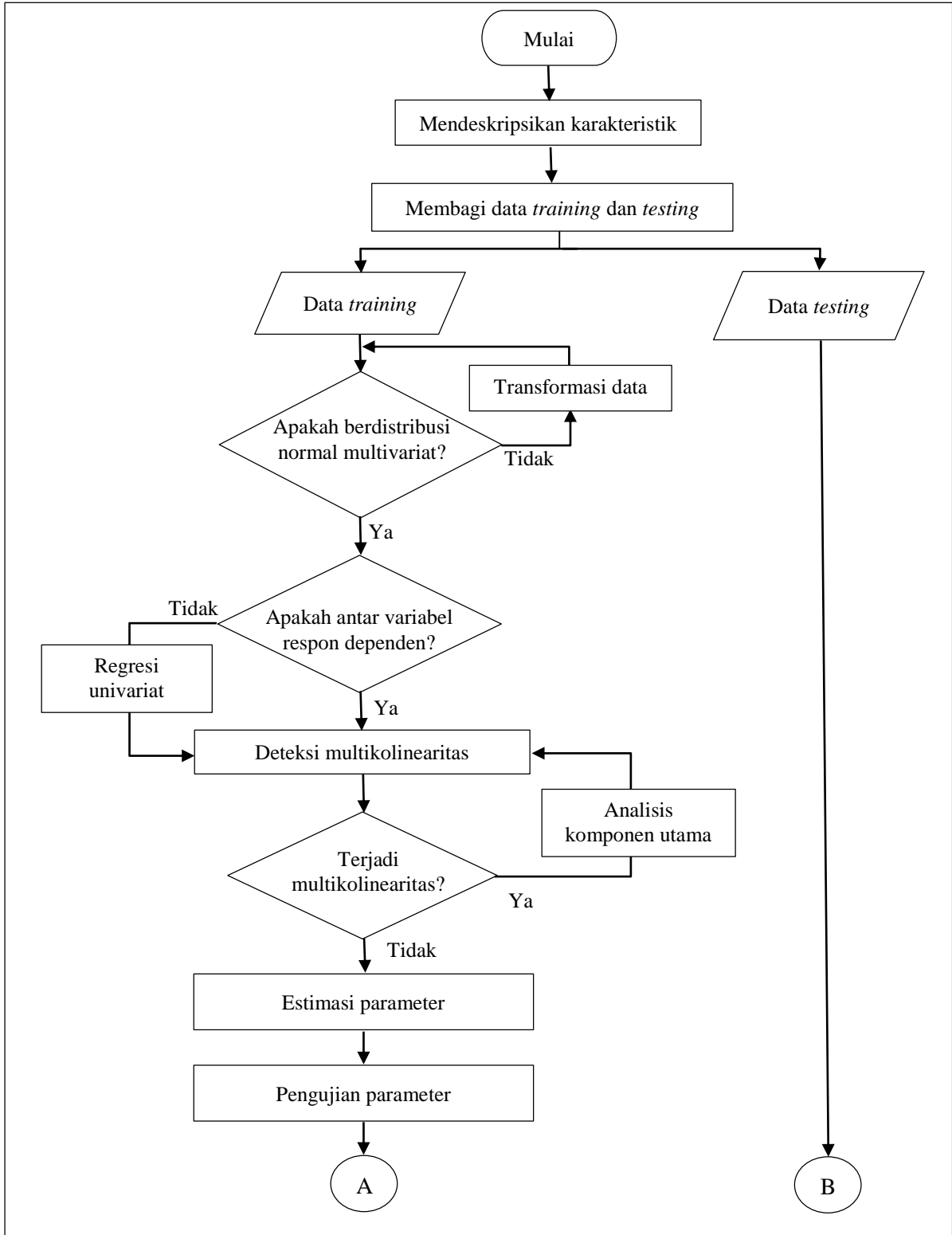
3.4. Langkah Analisis

Langkah analisis pada penelitian ini adalah.

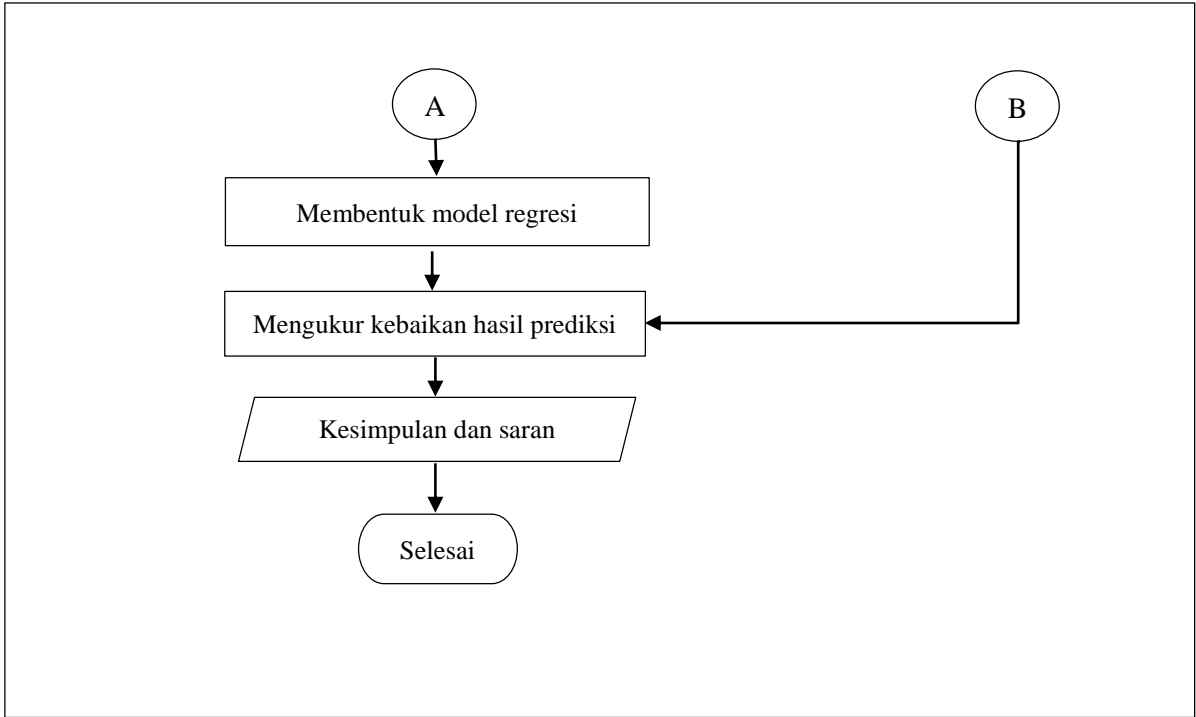
1. Mendeskripsikan variabel Y_1 dan Y_2 menggunakan statistika deskriptif.
 - a. Mendeskripsikan Y_1 dan Y_2 antara data aktual dan target menggunakan diagram batang.
 - b. Menyajikan nilai rata-rata, varians, minimum, dan maksimum dari variabel Y_1 dan Y_2 dalam bentuk tabel.
 - c. Menghitung korelasi antara variabel Y_1 dan Y_2 beserta seluruh variabel prediktor.
2. Membagi data *training* dan data *testing*.
3. Pengujian variabel Y_1 dan Y_2 pada data *training*
 - a. Menguji distribusi normal multivariat.
 - i. Jika variabel Y_1 dan Y_2 tidak berdistribusi normal multivariat, maka perlu dilakukan transformasi data.
 - ii. Jika variabel Y_1 dan Y_2 berdistribusi normal multivariat, maka analisis dilanjutkan ke langkah b.
 - b. Menguji dependensi antara variabel Y_1 dan Y_2 .
 - i. Jika antar variabel tidak berhubungan, maka analisis dilanjutkan dengan regresi univariat.
 - ii. Jika antar variabel saling berhubungan, maka analisis dilanjutkan ke langkah c.
 - c. Melakukan deteksi multikolinearitas antara variabel-variabel prediktor.
 - i. Jika terdeteksi adanya multikolinearitas, maka dilakukan analisis komponen utama.
 - ii. Jika tidak terdeteksi multikolinearitas, maka analisis dilanjutkan ke langkah d.
 - d. Membentuk model regresi multivariat.
 - i. Mengestimasi parameter model regresi.
 - ii. Melakukan pengujian parameter model regresi secara serentak dan parsial.

- iii. Membentuk dan menginterpretasi model regresi.
- 4. Mengukur kebaikan hasil prediksi menggunakan data *testing*.
- 5. Menarik kesimpulan dan saran.

Diagram alir secara rinci dapat disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir



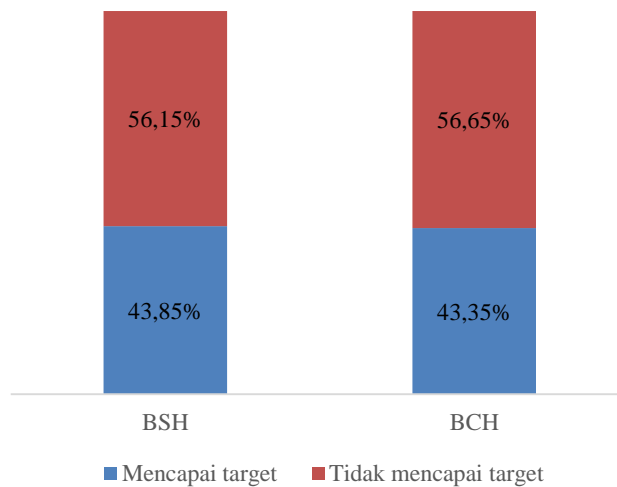
Gambar 3.2 Diagram Alir (Lanjutan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang analisis regresi multivariat untuk memprediksi nilai *Box Ship Hour* (BSH) dan *Box Crane Hour* (BCH). Analisis pada bab ini terdiri atas mendeskripsikan karakteristik serta prediksi BSH dan BCH kapal dermaga internasional menggunakan regresi multivariat.

1.1. Karakteristik BSH dan BCH Kapal Dermaga Internasional

Karakteristik BSH dan BCH dari kapal yang bersandar di dermaga internasional selama tahun 2021 dapat dideskripsikan menggunakan statistika deskriptif. Ketercapaian nilai BSH dan BCH dapat dijelaskan secara visual menggunakan diagram batang pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Batang Ketercapaian BSH terhadap Nilai Target

Gambar 4.1 menunjukkan grafik persentase ketercapaian BSH dan BCH terhadap nilai target yang ditetapkan, masing-masing yaitu 49 *box/jam* dan 26 *box/jam*. Penelitian ini menggunakan 789 kapal, dimana 443 kapal (56,15%) memiliki nilai BSH di bawah 49 *box/jam* sehingga sebanyak 443 kapal melakukan proses bongkar muat dengan waktu yang lama. Kapal yang memiliki nilai BCH di bawah 26 *box/jam* sebanyak 447 kapal (56,65%), menunjukkan bahwa sebanyak 447 kapal pada saat proses bongkar muat dilayani oleh *container crane* yang memiliki kinerja yang lambat.

Karakteristik BCH dan BSH dapat dideskripsikan menggunakan statistika deskriptif diantaranya yaitu nilai rata-rata, varians, minimum dan maksimum yang dapat disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Karakteristik BSH dan BCH

Variabel	Jumlah Kapal	Rata-Rata (<i>box/jam</i>)	Varians (<i>box/jam</i>)	Minimum (<i>box/jam</i>)	Maksimum (<i>box/jam</i>)
BSH	789	50	444	4	114
BCH	789	26	50	11	53

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa rata-rata BSH kapal di dermaga internasional sebesar 50 *box/jam* dengan varians 114 *box/jam*. Rata-rata nilai BSH sudah mencapai nilai target yang ditetapkan. Varians BSH yang besar disebabkan oleh waktu bongkar muat kapal bervariasi karena bergantung pada jumlah petikemas yang dimuat atau dibongkar dan kecepatan *container crane* dalam memindahkan petikemas. BSH tertinggi yaitu sebesar yang terjadi pada kapal *Rotterdam Bridge*. Hal tersebut dikarenakan kapal dilayani oleh 3 *container crane* dan waktu

sandar kapal sebesar 37 jam. Rata-rata BCH kapal di dermaga internasional sebesar 26 *box/jam* dengan varians sebesar 51 *box/jam*. Rata-rata BCH telah sama dengan nilai target BCH yang telah ditetapkan. Varians BCH yang tinggi disebabkan oleh *container crane* di setiap dermaga memiliki kemampuan yang berbeda dalam memindahkan petikemas. Karakteristik kapal yang memiliki BSH dan BCH tidak mencapai target dapat dideskripsikan menggunakan statistika deskriptif dapat disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Karakteristik BSH dan BCH yang Tidak Mencapai Target

Variabel	Jumlah Kapal	Rata-Rata (<i>box/jam</i>)	Varians (<i>box/jam</i>)	Minimum (<i>box/jam</i>)	Maksimum (<i>box/jam</i>)
BSH	443	34	67	4	48
BCH	447	20	9	11	25

Tabel 4.2 menunjukkan bahwa rata-rata BSH kapal yang tidak mencapai target yaitu 34 *box/jam* dengan varians 67 *box/jam*. Varians BSH yang besar dapat disebabkan oleh waktu bongkar muat kapal bervariasi karena bergantung pada jumlah petikemas yang dimuat atau dibongkar. BSH terendah yaitu 4 *box/jam* yang terjadi pada kapal Selatan Damai. Kapal tersebut bersandar di dermaga selama 177 jam sehingga menyebabkan nilai BSH rendah. BSH tertinggi yaitu 48 *box/jam* yang terjadi pada kapal *Ever Brave*. Hal tersebut dikarenakan waktu sandar kapal yang lebih cepat yaitu 29,98 jam.

Rata-rata BCH kapal yang tidak mencapai target yaitu 20 *box/jam* dengan varians 9 *box/jam*. *Container crane* di setiap dermaga memiliki kemampuan yang berbeda dalam memindahkan petikemas. BCH terendah yaitu 11 *box/jam* yang terjadi pada kapal Selatan Damai, di mana kapal tersebut dilayani oleh *container crane* yang memiliki kecepatan yang lambat dalam memindahkan petikemas sehingga menyebabkan rendahnya nilai BCH yang dihasilkan. Karakteristik BCH dan BSH berdasarkan jenis kapal dapat disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Karakteristik BSH dan BCH Berdasarkan Jenis Kapal

Variabel	Jenis Kapal	Jumlah Kapal	Rata-Rata (<i>box/jam</i>)	Varians (<i>box/jam</i>)	Minimum (<i>box/jam</i>)	Maksimum (<i>box/jam</i>)
BSH	Kapal <i>direct</i>	568	47	403	14	114
	Kapal <i>feeder</i>	221	56	490	4	108
BCH	Kapal <i>direct</i>	568	25	51	13	53
	Kapal <i>feeder</i>	221	27	45	11	42

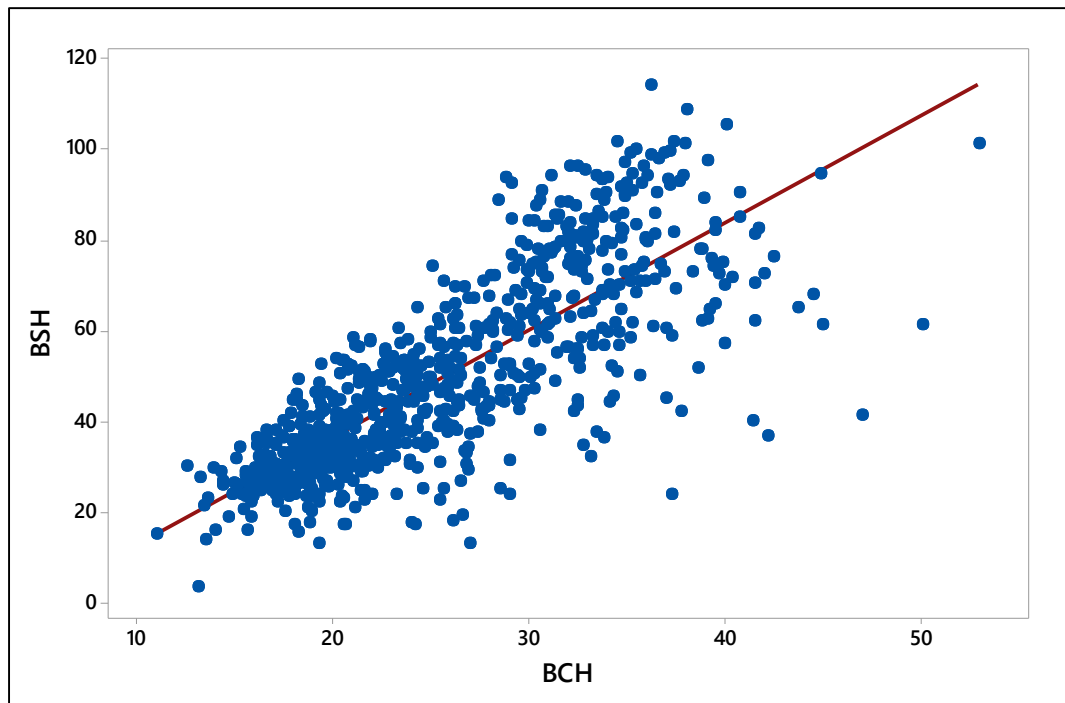
Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kapal yang banyak bersandar di dermaga internasional adalah kapal *direct*. Rata-rata BSH kapal *direct* adalah 47 *box/jam* dengan varians sebesar 403 *box/jam* sedangkan rata-rata BSH kapal *feeder* adalah 56 *box/jam* dengan varians sebesar 490 *box/jam*. Kapal *direct* memiliki rata-rata BCH sebesar 25 *box/jam* dengan varians 51 *box/jam* sedangkan kapal *feeder* memiliki rata-rata BCH sebesar 27 *box/jam* dengan varians 45 *box/jam*. Rata-rata BSH dan BCH kapal *direct* berada di bawah target serta memiliki nilai yang lebih kecil daripada kapal *feeder* karena kapal *direct* memiliki banyak pelabuhan tujuan sehingga memiliki susunan petikemas yang letaknya bervariasi sehingga memerlukan waktu yang lebih lama dalam memindahkan petikemas.

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa kapal paling banyak melakukan proses bongkar muat di dermaga 4 karena memiliki usia *container crane* paling baru sehingga rata-rata BCH dan BSH kapal yang bersandar di dermaga 4 paling tinggi diantara dermaga yang lain. Dermaga 1 dan 2 memiliki rata-rata BCH dan BSH di bawah target karena dermaga tersebut memiliki *container crane* dengan usia yang paling tua daripada dermaga 3 dan 4.

Tabel 4. 4 Karakteristik BSH dan BCH Berdasarkan Dermaga

Variabel	Dermaga	Jumlah Kapal	Rata-Rata (box/jam)	Varians (box/jam)	Minimum (box/jam)	Maksimum (box/jam)
BSH	1	97	29	70	4	52
	2	202	33	62	13	54
	3	237	49	180	18	101
	4	253	71	323	24	114
BCH	1	97	19	13	11	29
	2	202	20	9	13	32
	3	237	25	27	14	53
	4	253	33	22	21	50

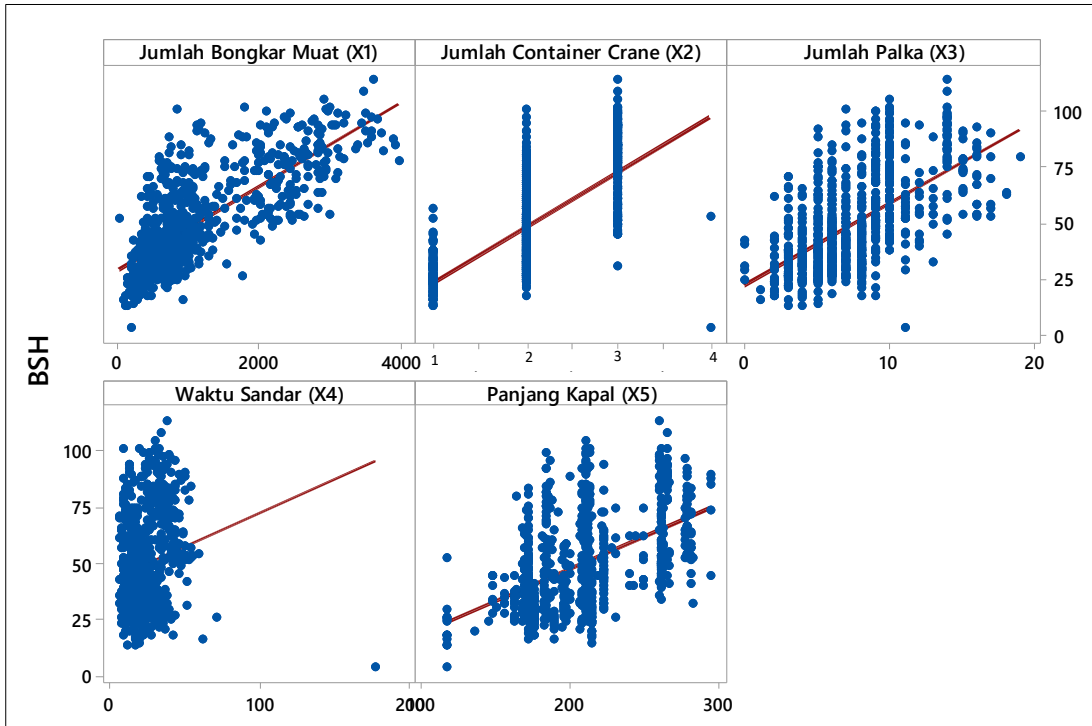
Hubungan antara BCH dan BSH dapat disajikan secara visual melalui *scatterplot* pada Gambar 4.2.



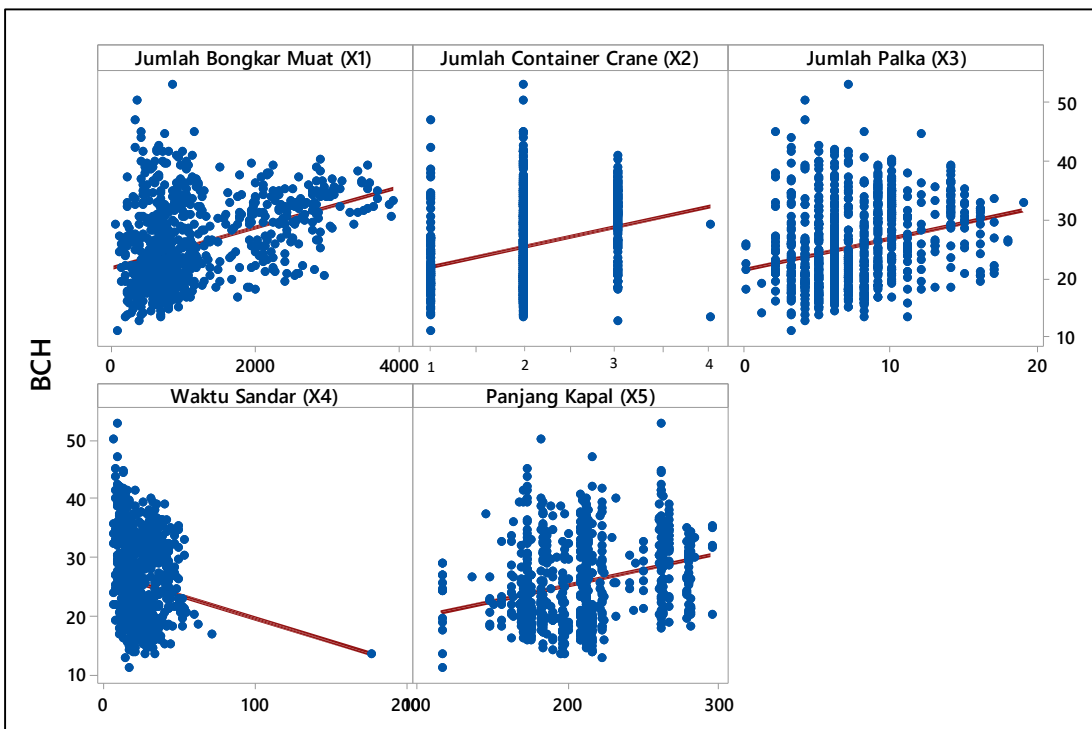
Gambar 4. 2 Scatterplot BCH dan BSH (beri Y1 dan y2)

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa plot-pot pengamatan membentuk garis linear yang menunjukkan hubungan yang berbanding lurus antara BCH dan BSH dengan koefisien korelasi sebesar 0,793. Artinya, jika BCH bertambah maka BSH akan semakin tinggi. Hubungan antara variabel prediktor dengan masing-masing variabel respon dapat disajikan melalui *scatterplot* pada Gambar 4.3 dan 4.4.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa plot pengamatan pada masing-masing variabel prediktor membentuk garis linear sehingga semua variabel prediktor memiliki hubungan yang berbanding lurus terhadap variabel BSH. Hal tersebut menunjukkan semakin bertambahnya jumlah bongkar muat, jumlah *container crane*, jumlah palka, waktu sandar, dan panjang kapal, nilai BSH akan semakin tinggi.



Gambar 4.3 Scatterplot BSH dan Variabel Prediktor



Gambar 4.4 Scatterplot BCH dan Variabel Prediktor

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa plot pengamatan pada variabel jumlah bongkar muat, jumlah *container crane*, jumlah palka, dan panjang kapal membentuk garis linear sehingga variabel tersebut memiliki hubungan yang berbanding lurus terhadap variabel BCH. Apabila variabel tersebut nilainya bertambah, maka BCH akan semakin tinggi. Variabel waktu sandar memiliki hubungan linear negatif terhadap BCH. Apabila waktu sandar kapal semakin lama, maka nilai BCH akan semakin kecil.

1.2. Prediksi BSH dan BCH Kapal Dermaga Internasional Menggunakan Regresi Multivariat

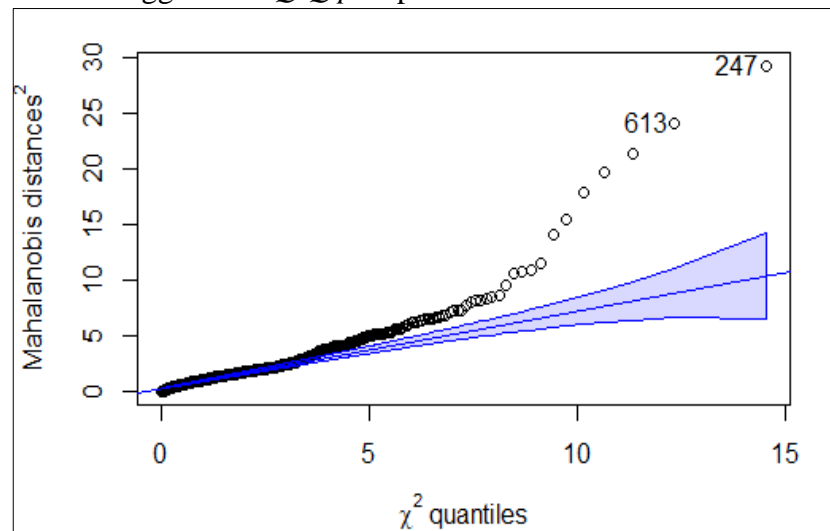
Regresi multivariat digunakan untuk memprediksi BSH dan BCH berdasarkan model regresi yang terbentuk. Terdapat 2 variabel respon yaitu BSH dan BCH serta 7 variabel prediktor. Analisis regresi multivariat terdiri atas pengujian distribusi normal multivariat, pengujian dependensi variabel respon, pemeriksaan multikolinearitas variabel prediktor, estimasi parameter, pengujian parameter, pembentukan model regresi, pengukuran kebaikan model, prediksi BSH dan BCH.

1.2.1. Syarat Regresi Multivariat untuk Memprediksi BCH dan BSH

Syarat dapat dilakukan analisis regresi multivariat adalah variabel BSH dan BCH berdistribusi normal multivariat, dependen dan tidak terjadi multikolinearitas antar variabel prediktor dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Pengujian Distribusi Normal Multivariat Variabel Respon

Salah satu syarat dalam regresi multivariat adalah variabel respon yaitu BSH dan BCH harus berdistribusi normal multivariat. Pemeriksaan distribusi normal multivariat dapat dilihat secara visual menggunakan *Q-Q plot* pada Gambar 4.5.



Gambar 4. 5 *Q-Q Plot* BSH dan BCH

Q-Q plot pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa secara visual pengamatan tidak mengikuti garis linear sehingga BSH dan BCH dapat dikatakan tidak berdistribusi normal multivariat. Namun, pemeriksaan menggunakan *Q-Q plot* saja belum cukup sehingga perlu dilakukan pengujian distribusi normal multivariat dengan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : Variabel BSH dan BCH berdistribusi normal multivariat

H_1 : Variabel BSH dan BCH tidak berdistribusi normal multivariat

H_0 gagal ditolak apabila proporsi nilai $d_i^2 \leq \chi_{(2,0,5)}^2$ berada di sekitar 50%. Hasil statistik uji yang diperoleh menggunakan Persamaan 2.3 dan merujuk pada Lampiran 3 menunjukkan bahwa proporsi nilai $d_i^2 \leq \chi_{(2,0,5)}^2$ yaitu 52,43%. Nilai tersebut berada di sekitar 50% sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel BSH dan BCH berdistribusi normal multivariat.

b. Pengujian Dependensi Variabel BSH dan BCH

Variabel BSH dan BCH akan diuji apakah kedua variabel saling dependen menggunakan uji *bartlett spericity* dengan hipotesis sebagai berikut.

H_0 : $\mathbf{R} = \mathbf{I}$ (variabel BSH dan BCH independen)

H_1 : $\mathbf{R} \neq \mathbf{I}$ (variabel BSH dan BCH dependen)

H_0 ditolak apabila nilai χ^2_{hitung} lebih besar dari $\chi^2_{(0,05;1)}$. Hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 2.6 dan merujuk pada Lampiran 3 menunjukkan bahwa nilai statistik uji yaitu 713 yang lebih besar dari 3,84 sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak, artinya variabel BSH dan BCH dependen. Hal tersebut menunjukkan bahwa syarat dependensi variabel respon terpenuhi sehingga dapat dilanjutkan ke analisis selanjutnya.

c. Pemeriksaan Multikolinearitas Variabel Prediktor

Pemeriksaan multikolinearitas dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan yang kuat antara variabel prediktor. Multikolinearitas dapat dideteksi dengan melihat nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) dari masing-masing variabel prediktor. Hasil perhitungan nilai VIF menggunakan Persamaan 2.7 dapat ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Nilai VIF Masing-Masing Variabel Prediktor

Variabel	VIF
X ₁	3,422
X ₂	1,733
X ₃	4,117
X ₄	1,985
X ₅	2,052

Nilai VIF yang dihasilkan dari masing-masing variabel prediktor bernilai kurang dari 10. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak terjadi multikolinearitas antar variabel prediktor.

1.2.2. Estimasi Parameter Model Regresi

Estimasi parameter digunakan untuk mendapatkan nilai $\hat{\beta}$ pada setiap variabel prediktor. Variabel yang digunakan yaitu sebanyak tujuh variabel prediktor dengan dua variabel respon yaitu \hat{Y}_1 dan \hat{Y}_2 . Nilai estimasi parameter yang didapatkan menggunakan Persamaan 2.8 dapat dilihat pada Lampiran 3 dan hasilnya disajikan pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Estimasi Parameter

Parameter	Variabel Respon	
	\hat{Y}_1	\hat{Y}_2
β_0	38,248	39.528
β_1	0,016	0,003
β_2	9,081	-0,399
β_3	0,159	-0,107
β_4	-0,699	-0,211
β_5	-0,011	-0,011
β_{D_1}	-3,39	-1,562
β_{D_2}	-17,417	-12,622
β_{D_3}	-17,565	-12,104
β_{D_4}	-9,781	-6,633

1.2.3. Pengujian Parameter Regresi Multivariat terhadap Variabel BSH dan BCH

Pengujian parameter regresi terdiri atas pengujian parameter secara serentak dan pengujian parameter secara parsial dapat dijabarkan sebagai berikut.

a. Pengujian Parameter Regresi terhadap BSH dan BCH Secara Serentak

Pengujian parameter model regresi secara serentak digunakan untuk mengetahui apakah variabel prediktor secara bersama-sama atau minimal terdapat satu variabel yang berpengaruh signifikan terhadap variabel BCH dan BSH. Pengujian parameter secara serentak dapat dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0: \beta_{01} = \beta_{11} = \dots = \beta_{72} = 0$ (semua variabel prediktor tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon)

H_1 : minimal ada satu $\beta_{jm} \neq 0$, dimana $j = 1, 2, \dots, 7$ dan $m = 1, 2$

H_0 ditolak apabila nilai *Wilk's Lambda* kurang dari sama dengan $\Lambda_{(2;10;778)}$. Hasil perhitungan statistik uji dengan menggunakan Persamaan 2.10 didapatkan bahwa nilai *Wilk's Lambda* 0,06 lebih kecil dari 0,96 sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak artinya minimal terdapat satu variabel prediktor yang berpengaruh signifikan terhadap variabel BSH dan BCH.

b. Pengujian Parameter Regresi terhadap BSH dan BCH Secara Parsial

Pengujian parameter secara parsial dilakukan untuk mengetahui variabel prediktor mana yang memberikan pengaruh signifikan terhadap BSH dan BCH dapat dilakukan dengan hipotesis sebagai berikut.

$H_0: \beta_{jm} = 0$

$H_1: \beta_{jm} \neq 0$, dimana $j = 1, 2, \dots, 7$ dan $m = 1, 2$

H_0 ditolak apabila nilai *Wilk's Lambda* kurang dari sama dengan $\Lambda_{(2;1;778)}$. Statistik uji *Wilk's Lambda* yang didapatkan dari Persamaan 2.10 dapat disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Statistik Uji Parameter

Variabel Prediktor	Parameter	<i>Wilk's Lambda</i>
Jumlah Bongkar Muat (X_1)	β_1	0,5851
Jumlah <i>Container Crane</i> (X_2)	β_2	0,6776
Jumlah Palka (X_3)	β_3	0,9899
Waktu sandar (X_4)	β_4	0,6788
Panjang Kapal (X_5)	β_5	0,9833
Jenis Kapal (X_6)	β_{D_1}	0,9675
	β_{D_2}	0,6312
	β_{D_3}	0,5411
	β_{D_4}	0,7288
Dermaga (X_7)		

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa masing-masing variabel prediktor memiliki nilai *Wilk's Lambda* yang kurang dari nilai 0,99 sehingga dapat diputuskan H_0 ditolak, artinya semua variabel prediktor berpengaruh signifikan terhadap BSH dan BCH.

1.2.4. Model Regresi Multivariat untuk Memprediksi BSH dan BCH

Model regresi multivariat untuk BSH dapat dibentuk berdasarkan estimasi parameter pada Tabel 4.6 ditampilkan pada Persamaan 4.1 sedangkan model regresi multivariat untuk BCH ditampilkan pada Persamaan 4.2.

$$\hat{Y}_1 = 38,25 + 0,0157 X_1 + 9,081 X_2 + 0,1589 X_3 - 0,6989 X_4 - 0,0111 X_5 - 3,39 D_1 - 17,42 D_2 - 17,57 D_3 - 9,781 D_4 \quad (4.1)$$

$$\hat{Y}_2 = 39,53 + 0,0026 X_1 - 0,3988 X_2 - 0,107 X_3 - 0,2113 X_4 - 0,0112 X_5 - 1,562 D_1 - 12,62 D_2 - 12,1 D_3 - 6,633 D_4 \quad (4.2)$$

Model regresi multivariat pada Persamaan 4.1 menunjukkan bahwa jika jumlah bongkar muat (X_1) bertambah sebanyak 1 *box*, maka terjadi peningkatan BSH (\hat{Y}_1) sebesar 0,0157 *box/jam* begitu juga dengan variabel X_2 , X_3 , X_4 , dan X_5 , sementara koefisien regresi untuk variabel *dummy* menunjukkan perbedaan besaran BSH antar kategori. Sebagai contoh yaitu nilai -3,39 menunjukkan bahwa BSH pada kapal *direct* lebih rendah 3,39 *box/jam* dibandingkan dengan BSH pada kapal *feeder*. Dermaga 1 memiliki BSH 17,42 *box/jam* lebih rendah daripada dermaga 4, begitu pula untuk perbedaan BSH di dermaga lainnya.

Model regresi multivariat pada Persamaan 4.2 menunjukkan bahwa jika jumlah bongkar muat (X_1) bertambah sebanyak 1 *box*, maka BCH (\hat{Y}_2) akan meningkat sebesar 0,0026 *box/jam* begitu juga dengan variabel X_2 , X_3 , X_4 , dan X_5 . Koefisien regresi untuk variabel *dummy* menunjukkan perbedaan besaran BCH antar kategori. Sebagai contoh yaitu nilai -1,562 menunjukkan bahwa BSH pada kapal *direct* lebih rendah 1,562 *box/jam* dibandingkan dengan BCH pada kapal *feeder*. Dermaga 1 memiliki BCH 12,62 *box/jam* lebih rendah daripada dermaga 4, begitu pula untuk perbedaan BCH di dermaga lainnya. Model regresi multivariat untuk masing-masing kategori *dummy* dapat dilihat pada Lampiran 4.

1.2.5. Pengukuran Keباikan Model dalam Memprediksi BSH dan BCH

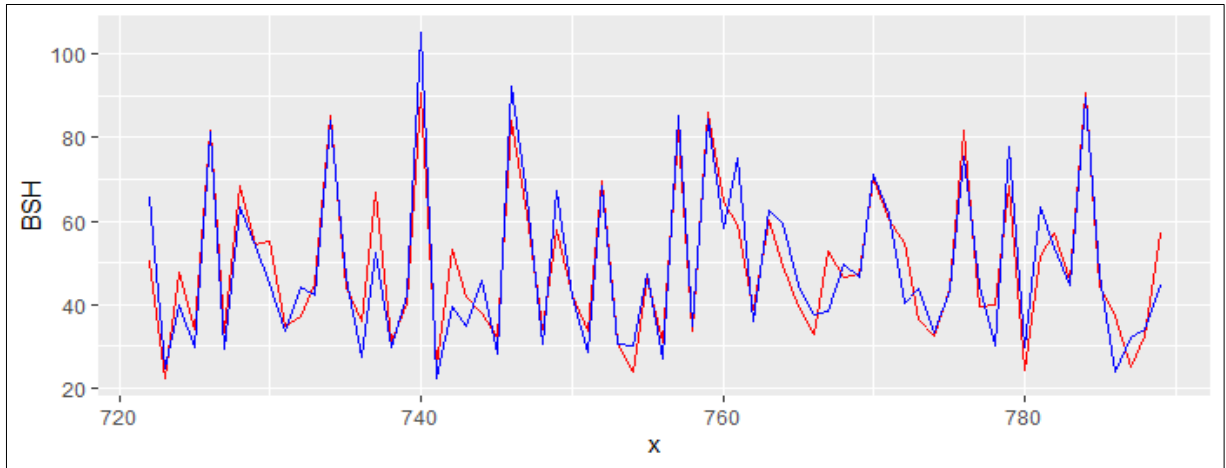
Pengukuran kebaikan model regresi multivariat dalam memprediksi BSH dan BCH dapat ditinjau dari nilai koefisien determinasi dan *Mean Absolute Error* (MAE) dapat dijelaskan sebagai berikut.

a. Koefisien Determinasi Model Regresi

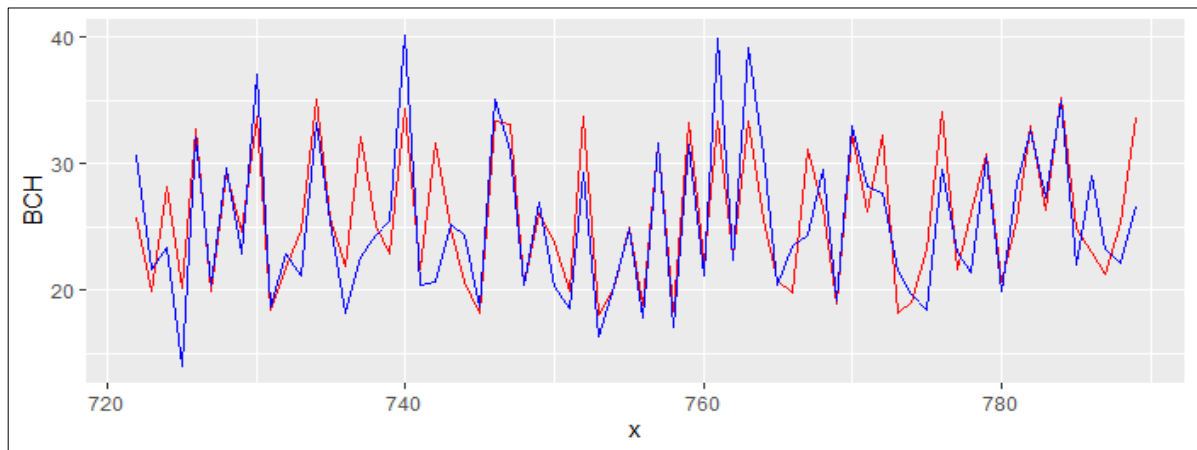
Koefisien determinasi menunjukkan seberapa besar model regresi yang dihasilkan dapat menjelaskan variabel BSH dan BCH. Hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 2.12 dan merujuk pada Lampiran 5 diperoleh nilai η_A^2 sebesar 0,94. Hal tersebut menunjukkan bahwa model regresi yang terbentuk mampu menjelaskan variabel BSH dan BCH sebesar 94%, sedangkan 6% sisanya dijelaskan oleh variabel lain di luar model.

b. Mean Absolute Error (MAE) pada Hasil Prediksi BSH dan BCH

Nilai BSH dan BCH dapat diprediksi berdasarkan model regresi multivariat yang diperoleh dari Persamaan 4.1 dan 4.2. Hasil prediksi merujuk pada Lampiran 3 dapat disajikan secara visual pada Gambar 4.6 dan 4.7, dimana garis merah menunjukkan data aktual dan garis biru adalah data hasil prediksi.



Gambar 4. 6 Grafik BSH Aktual dan Hasil Prediksi



Gambar 4. 7 Grafik BCH Aktual dan Hasil Prediksi

Gambar 4.6 dan 4.7 menunjukkan bahwa grafik BSH dan BCH aktual mendekati hasil prediksi, di mana rata-rata kesalahan nilai prediksi dapat dihitung dengan menggunakan MAE. Hasil perhitungan berdasarkan Persamaan 2.13 dan merujuk pada Lampiran 5 diperoleh nilai MAE untuk variabel BSH adalah 5,5 *box/jam* sedangkan untuk variabel BCH adalah 2,6 *box/jam*.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil analisis regresi multivariat yang diperoleh dapat memprediksi dengan baik BSH dan BCH karena hasil prediksi mendekati nilai aktual dengan rata-rata kesalahan untuk BSH sebesar 5,5 *box*/jam dan untuk BCH sebesar 2,6 *box*/jam, di mana model regresi yang terbentuk mampu menjelaskan variabel BSH dan BCH sebesar 94%.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Perusahaan dapat menggunakan regresi multivariat jika perusahaan ingin mengetahui jumlah BSH dan BCH dari proses bongkar muat.
2. Penelitian selanjutnya menggunakan metode lain seperti regresi *robust* untuk data yang mengandung outlier.

DAFTAR PUSTAKA

- Basuki, A. T., & Prawoto, N. (2017). Analisis regresi dalam penelitian ekonomi dan bisnis. *PT Rajagrafindo Persada, Depok*, 90–100.
- Chintyana, A. (2020). *Pemodelan Regresi Multivariat Antara Skor Sub Tes Mata Uji Ujian Tulis Terhadap Nilai Matematika dan Ilmu Dasar di ITS*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Duli, N. (2019). *Metodologi Penelitian Kuantitatif: Beberapa Konsep Dasar untuk Penulisan Skripsi & Analisis Data dengan SPSS*. Deepublish.
- Fauziah, S. (2019). *Analisis Keberhasilan Studi Mahasiswa Jalur Seleksi Ujian Tulis Menggunakan Regresi Multivariat*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gunawan, H., Suhartono, & Sianto, M. E. (2008). Analisis Faktor-faktor Yang Berpengaruh Terhadap Produktivitas Bongkar Muat Kontainer di Dermaga Berlian Surabaya (Studi Kasus PT. Pelayaran Meratus). *WIDYA TEKNIK*, 7, 78–79.
- Izenman, A. J. (2018). *Modern Multivariate Statistical Techniques*. Springer Science+Business Media.
- Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2007). *Applied Multivariate Statistical Analysis 6th edition*. Pearson Education Inc.
- Kulkarni, A. J., & Satapathy, S. C. (2019). *Optimization in Machine Learning and Applications*. Springer Singapore.
- Kusnoaji, C. (2020). *Analisis Penyebab Lama Waktu Sandar Kapal di PT Terminal Petikemas Surabaya*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Montgomery, D C, & Runger, G. C. (2017). *Applied Statistics and Probability for Engineers, 7th Edition*. John Wiley and Sons, Incorporated.
- Montgomery, Douglas C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting Second Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Pratiwi, R. D. A., & Wibowo, W. (2016). Pengaruh Karakteristik Sosial Ekonomi terhadap Angka Harapan Hidup dan Angka Kematian Bayi di Kabupaten/Kota Provinsi Jawa Timur Menggunakan Analisis Regresi Multivariat. *JURNAL SAINS DAN SENI ITS*, 5, 199–204.
- Rahmayanti, H., & Tirtayadi, A. (2011). Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas Bongkar Muat Container Kapal Keagenan PT. Mitra Samudra Jaya Lines di Jakarta Internasional Container Terminal (JICT). *Jurnal Logistik D III Transportasi UNJ*, IV, 22–32.
- Rencher, A. C., & Christensen, W. F. (2012). *Methods of Multivariate Analysis Third Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sasono, H. B. (2012). *Manajemen Pelabuhan dan Realisasi Ekspor Impor*. ANDI.
- Supriyono. (2010). *Analisis Kinerja Terminal Petikemas di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya*. Universitas Diponegoro.
- Yuwana, A. S. (2016). *Simulasi Kegiatan Bongkar Muat Petikemas untuk Optomasi Jumlah Combine Tractor Terminal (CTT) PT Terminal Teluk Lamong*. Institut teknologi sepuluh nopember.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Kapal yang Bersandar di Dermaga Internasional Tahun 2021

Nama Kapal	BSH	BCH	Jumlah Bongkar Muat	Jumlah CC	Jumlah Palka	Waktu Sandar	Panjang Kapal	Jenis Kapal	Dermaga
ROTTERDAM BRIDGE	93.37	28.88	3064	3	14	36.62	260.5	<i>Direct</i>	I4
NEGAR	28.85	21.48	766	1	0	28.5	168	<i>Direct</i>	I2
ADVANCE	32.65	19.55	445	2	5	14.67	182	<i>Direct</i>	I2
SELATAN DAMAI	15.31	11.09	93	1	3	16.92	116	<i>Feeder</i>	I1
MAERSK YAMUNA	79.64	32.8	2574	3	19	34.33	281	<i>Direct</i>	I4
JACK LONDON	41	20.46	1068	2	10	30.5	262	<i>Direct</i>	I3
SELENITE	45.23	20.04	968	2	6	25.08	222	<i>Feeder</i>	I2
SITC SHEKOU	41.97	27.58	328	2	5	8.72	189	<i>Direct</i>	I3
BANGKOK BRIDGE	91.51	34.77	2871	3	14	35	266	<i>Feeder</i>	I4
APL PUSAN	32.71	20.78	504	2	5	16.57	207	<i>Direct</i>	I2
EVER BASIS	50.71	22.81	1011	2	9	21.08	212	<i>Direct</i>	I3
BERNHARD SCHULTE	93.83	36.12	2006	3	12	23	264	<i>Feeder</i>	I4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SELATAN DAMAI	24.01	29.03	214	2	3	9.83	116	<i>Feeder</i>	I1
INSPIRE	32.18	23.22	655	1	3	24.83	172	<i>Feeder</i>	I2
TR ARAMIS	34.07	22.08	623	1	6	20.97	186	<i>Direct</i>	I3
VEGA KAPPA	44.57	26.5	943	2	7	24.23	148	<i>Feeder</i>	I4

Lampiran 2. Syntax RStudio Regresi Multivariat

```
#impor data
library(readxl)
data_excel=read_excel("D:\\semester 7\\TUGAS AKHIR\\DATA TA
ELINA.xlsx", sheet = "DATA 2", col_names =TRUE)
View(data_excel)

#data training testing
data_train<-data_excel[1:721,]
data_testing<-data_excel[722:789,]
View(data_train)
View(data_testing)

respon_aktual<-data_train[,2:3]
respon_aktual

#uji bartlett variabel respon
uji_bart <- function(x)
{
  method <- "Bartlett's test of sphericity"
  data.name <- deparse(substitute(x))
  x <- subset(x, complete.cases(x))
  n <- nrow(x)
  p <- ncol(x)
  chisq <- (1-n+(2*p+5)/6)*log(det(cor(x)))
  df <- p*(p-1)/2
  p.value <- pchisq(chisq, df, lower.tail=FALSE)
  names(chisq) <- "Khi-squared"
  names(df) <- "df"
  return(structure(list(statistic=chisq, parameter=df,
  p.value=p.value,method=method, data.name=data.name),
  class="htest"))
}
uji_bart(respon_aktual)

#multivariat normal
multinorm.test<-function(x)
{
  x<-as.data.frame(x)
  mu<-colMeans(x)
  S<-cov(x)
  invS<-solve(S)
  d<-matrix(rep(0,nrow(x)),nrow(x),1)
  eval<-matrix(rep(0,nrow(x)),nrow(x),1)
  q<-qchisq(0.5,ncol(x))
  for (i in 1:nrow(x))
  {
    d[i]<-as.numeric(x[i,]-mu) %*% (invS) %*%
    as.numeric(t(x[i,]-mu))
    51
    ifelse (d[i]<=q, eval[i]<-1, eval[i]<-0)
  }
}
```

Lampiran 2. Syntax RStudio Regresi Multivariat (Lanjutan)

```
prop <- sum(eval)/nrow(x)
result<- list(distance=d, chisquared=q,
              proportion=prop)
return (result)
}
multinorm.test(respon_aktual)

# qqplot
mqgnorm <- function(y,main="Multi-normal Q-Q Plot")
{
  if (!is.matrix(y))
  {y <- as.matrix(y)}
  distances <- mahalanobis(y,colMeans(y),cov(y))
  car::qqPlot(distances,distribution="chisq",
             df=mean(distances),lwd=1,grid=FALSE,
             main=main,xlab=expression(chi^2 * " quantiles"
             ),
             ylab=expression("Mahalanobis distances "^2))
}
mqgnorm(respon_aktual)

#deteksi multikolinearitas (vif)
library(carData)
library(car)
modell1 = lm(Y1~X1+X2+X3+X4+X5, data = data_train)
vif(modell1)
modell2 = lm(Y2~X1+X2+X3+X4+X5, data = data_train)
vif(modell2)

#estimasi parameter
mlm1 <- lm(cbind(Y1, Y2) ~ X1+X2+X3+X4+X5+Z1+Z2+Z3+Z4, data =
data_train)
summary(mlm1)

#uji serentak
uji_serentak<-linearHypothesis(mlm1, hypothesis.matrix =
c("X1=0","X2=0","X3=0","X4=0","X5=0","Z1=0","Z2=0","Z3=0","Z4=0"))
uji_serentak

#uji parsial
mlm2 <- Anova(mlm1, test.statistic = "Wilks")
mlm2
summary(mlm2)

#prediksi
hasil_prediksi<-fitted(mlm1)
#menyimpan hasil prediksi
setwd("D:\\semester 7\\TUGAS AKHIR")
library(writexl)
df<-as.data.frame(hasil_prediksi)
write_xlsx(df,"hasil_prediksi.xlsx")

#residual
library(MLmetrics)
residual<-as.data.frame(residuals(mlm1))
```

Lampiran 2. Syntax RStudio Regresi Multivariat (Lanjutan)

```
#yfit
y_fit<-predict(mlm1, newdata = data_train)

#prediksi dengan data testing
pred<-predict(mlm1, newdata = data_testing)
pred<-as.data.frame(pred)
pred

#MAE
bsh_aktual<-data_testing$Y1
bsh_pred<-pred$Y1
bch_aktual<-data_testing$Y2
bch_pred<-pred$Y2
mae_y1<-MAE(bsh_aktual,bsh_pred)
mae_y1
mae_y2<-MAE(bch_aktual, bch_pred)
mae_y2

#Visualisasi data aktual dan prediksi
data_prediksi=read_excel("D:\\semester 7\\TUGAS AKHIR\\DATA TA
ELINA.xlsx", sheet = "data prediksi", col_names =TRUE)
library(ggplot2)

BSH<-data_prediksi$`BSH Prediksi`
BSH2<-data_prediksi$`BSH Aktual`

x<-data_prediksi$Kapal
ggplot(data_prediksi, aes(x)) +
  geom_line(aes(y=BSH), colour="red") +
  geom_line(aes(y=BSH2), colour="blue")

BCH<-data_prediksi$`BCH Prediksi`
BCH2<-data_prediksi$`BCH Aktual`
x<-data_prediksi$Kapal

ggplot(data_prediksi, aes(x)) +
  geom_line(aes(y=BCH), colour="red") +
  geom_line(aes(y=BCH2), colour="blue")
```


Lampiran 3 Output Software

1. Output Minitab Karakteristik BSH dan BCH

Statistics						
Variable	N	N*	Mean	Variance	Minimum	Maximum
Y1	789	0	49,554	444,013	3,510	113,790
Y2	789	0	25,620	50,218	11,090	52,980

Statistics							
Variable	N	N*	Mean	Variance	Minimum	Q1	Maximum
BSH	443	0	33,985	67,385	3,510	27,810	48,960
BCH	447	0	20,357	9,236	11,090	18,100	25,990

Statistics						
Variable	N	N*	Mean	Variance	Minimum	Maximum
BSH direct	568	0	46,937	402,591	13,760	113,790
BSH feeder	221	0	56,28	489,63	3,51	108,45

Statistics						
Variable	N	N*	Mean	Variance	Minimum	Maximum
BCH direct	568	0	24,993	50,987	12,660	52,980
BCH feeder	221	0	27,232	44,840	11,090	42,020

Statistics						
Variable	N	N*	Mean	Variance	Minimum	Maximum
BSH dermaga 1	97	0	29,176	70,129	3,510	52,130
BSH dermaga 2	202	0	33,251	61,793	13,040	54,140
BSH dermaga 3	237	0	49,235	179,581	17,610	100,880
BSH dermaga 4	253	0	70,68	323,02	23,80	113,79

Statistics						
Variable	N	N*	Mean	Variance	Minimum	Maximum
BCH dermaga 1	97	0	19,147	12,531	11,090	29,060
BCH dermaga 2	202	0	19,815	9,327	12,660	32,280
BCH dermaga 3	237	0	25,362	26,516	14,470	52,980
BCH dermaga 4	253	0	32,979	22,404	20,660	50,130

Lampiran 3 Output Software (Lanjutan)

2. Output RStudio Regresi Multivariat

```
#uji bartlett
Bartlett's test of sphericity

data: respon_aktual
Khi-squared = 713, df = 1, p-value < 2.2e-16

#multivariat normal
multinorm.test(respon_aktual)
$chisquared
[1] 1.386294

$proportion
[1] 0.5242718

#deteksi multikolinearitas (vif)
vif(modell)
      X1      X2      X3      X4      X5
3.422476 1.732760 4.117139 1.984575 2.052587

vif(model2)
      X1      X2      X3      X4      X5
3.422476 1.732760 4.117139 1.984575 2.052587

#estimasi parameter
Response Y1 :

Call:
lm(formula = Y1 ~ X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + Z1 + Z2 + Z3 + Z4,
    data = data_train)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-20.955  -4.950  -0.886   4.227  64.161

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.825e+01  2.487e+00  15.378 < 2e-16 ***
X1           1.574e-02  7.699e-04  20.451 < 2e-16 ***
X2           9.081e+00  7.070e-01  12.844 < 2e-16 ***
X3           1.589e-01  1.737e-01   0.915  0.361
X4          -6.989e-01  3.820e-02 -18.297 < 2e-16 ***
X5           1.113e-02  1.224e-02   0.909  0.364
Z1          -3.390e+00  7.383e-01  -4.592  5.2e-06 ***
Z2          -1.742e+01  1.267e+00 -13.748 < 2e-16 ***
Z3          -1.757e+01  1.010e+00 -17.397 < 2e-16 ***
Z4          -9.781e+00  8.362e-01 -11.697 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
Residual standard error: 7.968 on 711 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8608, Adjusted R-squared:  0.859
F-statistic: 488.5 on 9 and 711 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Lampiran 3 Output Software (Lanjutan)

```
Response Y2 :
Call:
lm(formula = Y2 ~ X1 + X2 + X3 + X4 + X5 + Z1 + Z2 + Z3 + Z4,
    data = data_train)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-10.7510  -2.2332  -0.2577   1.9083  27.2546

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.953e+01  1.216e+00  32.511 < 2e-16 ***
X1           2.573e-03  3.764e-04   6.835 1.76e-11 ***
X2          -3.988e-01  3.456e-01  -1.154  0.2489
X3          -1.070e-01  8.493e-02  -1.260  0.2080
X4          -2.113e-01  1.867e-02 -11.313 < 2e-16 ***
X5          -1.124e-02  5.985e-03  -1.879  0.0607 .
Z1          -1.562e+00  3.609e-01  -4.327 1.73e-05 ***
Z2          -1.262e+01  6.193e-01 -20.381 < 2e-16 ***
Z3          -1.210e+01  4.936e-01 -24.523 < 2e-16 ***
Z4          -6.633e+00  4.087e-01 -16.228 < 2e-16 ***
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.895 on 711 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.7094, Adjusted R-squared:  0.7057
F-statistic: 192.8 on 9 and 711 DF, p-value: < 2.2e-16

#Uji serentak
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1 279116.86 72224.18
Y2  72224.18 26325.58

Sum of squares and products for error:
      Y1      Y2
Y1 45139.13 14797.66
Y2 14797.66 10786.51

Multivariate Tests:
            Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai      9  1.417765 192.3683     18  1422 < 2.22e-16 ***
Wilks       9  0.060059 243.0163     18  1420 < 2.22e-16 ***
Hotelling-Lawley 9  7.694427 303.0749     18  1418 < 2.22e-16 ***
Roy         9  6.463527 510.6186      9   711 < 2.22e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#uji parsial
Type II MANOVA Tests:
Sum of squares and products for error:
      Y1      Y2
Y1 45139.13 14797.66
Y2 14797.66 10786.51
-----
```

Lampiran 3 Output Software (Lanjutan)

```

Term: X1
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1 26551.789 4338.2083
Y2  4338.208  708.8054

Multivariate Tests: X1
      Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai      1 0.4149238 251.7586      2   710 < 2.22e-16 ***
Wilks       1 0.5850762 251.7586      2   710 < 2.22e-16 ***
Hotelling-Lawley 1 0.7091792 251.7586      2   710 < 2.22e-16 ***
Roy         1 0.7091792 251.7586      2   710 < 2.22e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
-----

Term: X2
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1 10473.6908 -459.96279
Y2 -459.9628  20.19973

Multivariate Tests: X2
      Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai      1 0.3224381 168.9374      2   710 < 2.22e-16 ***
Wilks       1 0.6775619 168.9374      2   710 < 2.22e-16 ***
Hotelling-Lawley 1 0.4758800 168.9374      2   710 < 2.22e-16 ***
Roy         1 0.4758800 168.9374      2   710 < 2.22e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
-----

Term: X3
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1  53.10810 -35.77349
Y2 -35.77349  24.09695

Multivariate Tests: X3
      Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai      1 0.0100476 3.603088      2   710 0.027739 *
Wilks       1 0.9899524 3.603088      2   710 0.027739 *
Hotelling-Lawley 1 0.0101495 3.603088      2   710 0.027739 *
Roy         1 0.0101495 3.603088      2   710 0.027739 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Term: X4
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1 21253.079 6424.021
Y2  6424.021 1941.744

```

Lampiran 3 Output Software (Lanjutan)

```
Multivariate Tests: X4
      Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai      1 0.3211937 167.9769      2    710 < 2.22e-16 ***
Wilks      1 0.6788063 167.9769      2    710 < 2.22e-16 ***
Hotelling-Lawley 1 0.4731743 167.9769      2    710 < 2.22e-16 ***
Roy      1 0.4731743 167.9769      2    710 < 2.22e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
-----
```

```
Term: X5
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1  52.43254 -52.98821
Y2 -52.98821  53.54977
```

```
Multivariate Tests: X5
      Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai      1 0.0167024 6.030056      2    710 0.0025303 **
Wilks      1 0.9832976 6.030056      2    710 0.0025303 **
Hotelling-Lawley 1 0.0169861 6.030056      2    710 0.0025303 **
Roy      1 0.0169861 6.030056      2    710 0.0025303 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
-----
```

```
Term: Z1
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1 1338.4958 616.6476
Y2  616.6476 284.0908
```

```
Multivariate Tests: Z1
      Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai      1 0.0325399 11.94021      2    710 7.9384e-06 ***
Wilks      1 0.9674601 11.94021      2    710 7.9384e-06 ***
Hotelling-Lawley 1 0.0336344 11.94021      2    710 7.9384e-06 ***
Roy      1 0.0336344 11.94021      2    710 7.9384e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
-----
```

```
Term: Z2
Sum of squares and products for the hypothesis:
      Y1      Y2
Y1 12000.123 8696.087
Y2  8696.087 6301.763
```

Lampiran 3 Output Software (Lanjutan)

```

Multivariate Tests: Z2
              Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai        1 0.3687837 207.4062          2    710 < 2.22e-16 ***
Wilks         1 0.6312163 207.4062          2    710 < 2.22e-16 ***
Hotelling-Lawley 1 0.5842429 207.4062          2    710 < 2.22e-16 ***
Roy           1 0.5842429 207.4062          2    710 < 2.22e-16 ***
----
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
-----

Term: Z3
Sum of squares and products for the hypothesis:
              Y1      Y2
Y1 19214.97 13240.179
Y2 13240.18  9123.218

Multivariate Tests: Z3
              Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai        1 0.4589079 301.0806          2    710 < 2.22e-16 ***
Wilks         1 0.5410921 301.0806          2    710 < 2.22e-16 ***
Hotelling-Lawley 1 0.8481142 301.0806          2    710 < 2.22e-16 ***
Roy           1 0.8481142 301.0806          2    710 < 2.22e-16 ***
----
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
-----

Term: Z4
Sum of squares and products for the hypothesis:
              Y1      Y2
Y1 8686.189 5890.983
Y2 5890.983 3995.271

Multivariate Tests: Z4
              Df test stat approx F num Df den Df      Pr(>F)
Pillai        1 0.2711844 132.0916          2    710 < 2.22e-16 ***
Wilks         1 0.7288156 132.0916          2    710 < 2.22e-16 ***
Hotelling-Lawley 1 0.3720891 132.0916          2    710 < 2.22e-16 ***
Roy           1 0.3720891 132.0916          2    710 < 2.22e-16 ***
----
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#hasil prediksi
              Y1      Y2
1  50.33977 25.74757
2  22.40881 19.89628
3  47.81671 28.13704
4  34.15484 20.10051
5  81.77939 32.71120
6  33.31060 19.94652
7  68.50958 29.29667
8  54.43247 24.52697
9  55.26238 33.70477
10 34.59855 18.36563
11 37.17817 21.79093
12 45.13016 24.68184
13 85.26151 35.10770
14 44.06864 25.73231
15 35.94480 21.84970
16 66.99245 32.16681

```

Lampiran 3 Output Software (Lanjutan)

```
17 31.04875 25.02568
18 40.07659 22.84967
19 90.58373 34.37745
20 25.28942 21.58862
21 53.16209 31.65365
22 41.72831 24.88270
23 37.97602 20.66462
24 32.08898 18.20724
25 84.23035 33.30772
26 61.25369 33.05532
27 33.95897 20.35393
28 57.73138 26.12104
29 42.12273 23.70162
30 33.71588 19.91507
31 69.44832 33.66591
32 30.91085 17.99424
33 23.88413 20.10624
34 46.18724 24.90332
35 30.92634 18.81513
36 81.65182 31.59756
37 33.69294 18.28232
38 86.09133 33.23385
39 64.48981 22.21836
40 59.19118 33.33022
41 38.72563 22.58748
42 60.08013 33.32761
43 49.21449 25.58937
44 39.45848 20.81386
45 32.76592 19.79746
46 52.61866 31.17707
47 46.39148 26.42926
48 47.25071 18.89237
49 70.54302 32.41028
50 60.05367 26.20637
51 54.68155 32.20914
52 36.28511 18.17923
53 32.32586 19.00076
54 43.79885 23.24703
55 81.78060 34.05756
56 39.57400 21.62792
57 40.03176 26.08635
58 68.41479 30.71772
59 24.21205 20.69389
60 51.47525 25.56365
61 56.99389 32.94787
62 45.84648 26.28001
63 90.81822 35.19757
64 44.75095 24.77879
65 37.25841 22.95738
66 25.11229 21.21028
67 32.33349 25.37343
68 57.08080 33.62437
#MAE Y1
[1] 5.498755

#MAE Y2
[1] 2.583685
```

Lampiran 4 Model Regresi Untuk Variabel *Dummy*

1. Model regresi untuk kapal *direct*:

$$\hat{Y}_1 = 34,86 + 0,0157 X_1 + 9,081 X_2 + 0,1589 X_3 - 0,6989 X_4 - 0,0111 X_5 - 17,42 D_2 - 17,57 D_3 - 9,781 D_4$$

$$\hat{Y}_2 = 37,97 + 0,0026 X_1 - 0,3988 X_2 - 0,107 X_3 - 0,2113 X_4 - 0,0112 X_5 - 12,62 D_2 - 12,1 D_3 - 6,633 D_4$$

2. Model regresi untuk kapal *feeder*:

$$\hat{Y}_1 = 38,25 + 0,0157 X_1 + 9,081 X_2 + 0,1589 X_3 - 0,6989 X_4 - 0,0111 X_5 - 17,42 D_2 - 17,57 D_3 - 9,781 D_4$$

$$\hat{Y}_2 = 39,53 + 0,0026 X_1 - 0,3988 X_2 - 0,107 X_3 - 0,2113 X_4 - 0,0112 X_5 - 12,62 D_2 - 12,1 D_3 - 6,633 D_4$$

3. Model regresi untuk dermaga 1:

$$\hat{Y}_1 = 20,83 + 0,0157 X_1 + 9,081 X_2 + 0,1589 X_3 - 0,6989 X_4 - 0,0111 X_5 - 3,39 D_1$$

$$\hat{Y}_2 = 26,91 + 0,0026 X_1 - 0,3988 X_2 - 0,107 X_3 - 0,2113 X_4 - 0,0112 X_5 - 1,562 D_1$$

4. Model regresi untuk dermaga 2:

$$\hat{Y}_1 = 20,68 + 0,0157 X_1 + 9,081 X_2 + 0,1589 X_3 - 0,6989 X_4 - 0,0111 X_5 - 3,39 D_1$$

$$\hat{Y}_2 = 27,43 + 0,0026 X_1 - 0,3988 X_2 - 0,107 X_3 - 0,2113 X_4 - 0,0112 X_5 - 1,562 D_1$$

5. Model regresi untuk dermaga 3:

$$\hat{Y}_1 = 28,469 + 0,0157 X_1 + 9,081 X_2 + 0,1589 X_3 - 0,6989 X_4 - 0,0111 X_5 - 3,39 D_1$$

$$\hat{Y}_2 = 32,897 + 0,0026 X_1 - 0,3988 X_2 - 0,107 X_3 - 0,2113 X_4 - 0,0112 X_5 - 1,562 D_1$$

6. Model regresi untuk dermaga 4:

$$\hat{Y}_1 = 38,25 + 0,0157 X_1 + 9,081 X_2 + 0,1589 X_3 - 0,6989 X_4 - 0,0111 X_5 - 3,39 D_1$$

$$\hat{Y}_2 = 39,53 + 0,0026 X_1 - 0,3988 X_2 - 0,107 X_3 - 0,2113 X_4 - 0,0112 X_5 - 1,562 D_1$$

Lampiran 5 Perhitungan Manual

Perhitungan Manual *Mean Absolute Error* (MAE)

$$\text{MAE } Y_1 = \frac{|50,34 - 65,66| + |22,41 - 24,65| + \dots + |57,08 - 44,57|}{68} = 5,5$$

$$\text{MAE } Y_2 = \frac{|25,75 - 30,58| + |19,9 - 21,69| + \dots + |33,62 - 26,5|}{68} = 2,58$$

Perhitungan Manual Koefisien Determinasi

$$\eta_{\Lambda}^2 = 1 - \Lambda$$

$$\begin{aligned} &= 1 - \frac{|\mathbf{E}|}{|\mathbf{E} + \mathbf{H}|} \\ &= 1 - \frac{\begin{vmatrix} 45139,13 & 14797,67 \\ 14797,67 & 10786,51 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 324255,99 & 87021,84 \\ 87021,84 & 37112,09 \end{vmatrix}} \\ &= 0,94 \end{aligned}$$

α v	.995	.990	.975	.950	.900	.500	.100	.050	.025	.010	.005
1	.00+	.00+	.00+	.00+	.02	.45	2.71	3.84	5.02	6.63	7.88
2	.01	.02	.05	.10	.21	1.39	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	.07	.11	.22	.35	.58	2.37	6.25	7.81	9.35	11.34	12.84
4	.21	.30	.48	.71	1.06	3.36	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	.41	.55	.83	1.15	1.61	4.35	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	.68	.87	1.24	1.64	2.20	5.35	10.65	12.59	14.45	16.81	18.55
7	.99	1.24	1.69	2.17	2.83	6.35	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	7.34	13.36	15.51	17.53	20.09	21.96
9	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	8.34	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	9.34	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	10.34	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	11.34	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	12.34	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	13.34	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.27	7.26	8.55	14.34	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	15.34	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	16.34	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.26	7.01	8.23	9.39	10.87	17.34	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	18.34	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	19.34	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	20.34	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	21.34	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	22.34	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	23.34	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	24.34	34.28	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	25.34	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	26.34	36.74	40.11	43.19	46.96	49.65
28	12.46	13.57	15.31	16.93	18.94	27.34	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	28.34	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	29.34	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	39.34	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	49.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	59.33	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	69.33	85.53	90.53	95.02	100.42	104.22
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	79.33	96.58	101.88	106.63	112.33	116.32
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	89.33	107.57	113.14	118.14	124.12	128.30
100	67.33	70.06	74.22	77.93	82.36	99.33	118.50	124.34	129.56	135.81	140.17

v = degrees of freedom.

Lampiran 7 Tabel Distribusi *Wilk's Lambda*

ν_E	ν_H											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	$p = 2$											
1	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
2	2.50 ^a	.641 ^a	.287 ^a	.162 ^a	.104 ^a	.072 ^a	.053 ^a	.041 ^a	.032 ^a	.026 ^a	.022 ^a	.018 ^a
3	.050	.018	9.53 ^a	5.84 ^a	3.95 ^a	2.85 ^a	2.15 ^a	1.68 ^a	1.35 ^a	1.11 ^a	.928 ^a	.787 ^a
4	.136	.062	.036	.023	.017	.012	9.56 ^a	7.62 ^a	6.21 ^a	5.17 ^a	4.36 ^a	3.73 ^a
5	.224	.117	.074	.051	.037	.028	.023	.018	.015	.013	.011	.009
6	.302	.175	.116	.084	.063	.049	.040	.033	.027	.023	.020	.017
7	.368	.230	.160	.119	.092	.074	.060	.050	.042	.036	.032	.028
8	.4256	.280	.203	.155	.122	.099	.082	.069	.059	.051	.045	.040
9	.473	.326	.243	.190	.153	.126	.106	.090	.078	.068	.060	.053
10	.514	.367	.281	.223	.183	.152	.129	.111	.097	.085	.075	.067
11	.549	.404	.316	.255	.212	.179	.153	.133	.116	.102	.091	.082
12	.580	.437	.348	.286	.240	.204	.176	.154	.136	.120	.108	.097
13	.607	.467	.378	.314	.266	.229	.199	.175	.155	.138	.124	.112
14	.631	.495	.405	.340	.291	.252	.221	.195	.174	.156	.141	.128
15	.652	.519	.431	.365	.315	.275	.242	.215	.193	.174	.157	.143
16	.671	.542	.454	.389	.337	.296	.263	.235	.211	.191	.174	.159
17	.688	.562	.476	.410	.359	.317	.282	.254	.229	.208	.190	.174
18	.703	.581	.496	.431	.379	.337	.301	.272	.246	.225	.206	.189
19	.717	.598	.515	.450	.398	.355	.320	.289	.263	.241	.221	.204
20	.730	.614	.532	.468	.416	.373	.337	.306	.279	.256	.236	.218
21	.741	.629	.548	.485	.433	.390	.354	.322	.295	.271	.251	.232
22	.752	.643	.564	.501	.449	.406	.370	.338	.310	.286	.265	.246
23	.762	.656	.578	.516	.465	.422	.385	.353	.325	.300	.279	.259
24	.771	.668	.591	.530	.479	.436	.399	.367	.339	.314	.292	.272
25	.779	.679	.604	.544	.493	.450	.413	.381	.353	.328	.305	.285
26	.787	.689	.616	.556	.506	.464	.427	.395	.366	.341	.318	.297
27	.794	.699	.627	.568	.519	.477	.440	.407	.379	.353	.330	.309
28	.801	.708	.638	.580	.531	.489	.452	.420	.391	.365	.342	.321
29	.807	.717	.648	.591	.542	.501	.464	.432	.403	.377	.354	.332
30	.813	.725	.657	.601	.553	.512	.475	.443	.414	.388	.365	.344
40	.858	.786	.730	.682	.640	.602	.568	.537	.509	.484	.460	.439
60	.903	.853	.811	.774	.741	.710	.682	.656	.632	.609	.588	.568
80	.927	.888	.854	.825	.798	.772	.749	.727	.706	.686	.667	.649
100	.941	.909	.882	.857	.834	.813	.793	.774	.755	.738	.721	.705
120	.951	.924	.900	.879	.860	.841	.823	.807	.791	.775	.760	.746
140	.958	.934	.914	.895	.878	.862	.846	.831	.817	.803	.790	.777
170	.965	.946	.929	.913	.898	.885	.871	.859	.846	.834	.823	.812
200	.970	.954	.939	.926	.913	.901	.889	.878	.867	.857	.847	.837
240	.975	.961	.949	.938	.927	.917	.907	.897	.888	.879	.870	.862
320	.981	.971	.962	.953	.945	.937	.929	.922	.914	.907	.901	.894
440	.986	.979	.972	.965	.959	.953	.948	.942	.937	.932	.926	.921
600	.990	.984	.979	.975	.970	.966	.961	.957	.953	.949	.945	.942
800	.993	.988	.984	.981	.977	.974	.971	.968	.965	.962	.959	.956
1000	.994	.991	.987	.985	.982	.979	.977	.974	.972	.969	.967	.964

^aMultiply entry by 10^{-3} .

(continued)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Elina Normayanti lahir di Surabaya, 8 Mei 2000 dan tinggal di Desa Suwaluh RT 10 RW 03 Kecamatan Balongbendo Kabupaten Sidoarjo. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari seorang Ayah yang bernama Nuryono dan Ibu bernama Mutmainah. Penulis menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Suwaluh 1, SMPN 1 Krian, dan SMAN 1 Krian. Setelah lulus dari SMAN 1 Krian, Penulis mengikuti Seleksi Masuk ITS (SMITS) dan diterima di Departemen Statistika Bisnis Fakultas Vokasi ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 10611810000016. Selama perkuliahan, penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar yang diselenggarakan oleh Departemen maupun Himpunan Mahasiswa Diploma Statistika ITS (HIMADATA-ITS). Penulis juga pernah menjadi staf Departemen Kewirausahaan HIMADATA-ITS tahun 2019/2020 dan menjadi kepala biro *Research&Development* Departemen Kewirausahaan HIMADATA-ITS tahun 2020/2021. Selain mengikuti organisasi, penulis juga mengikuti beberapa kegiatan kepanitiaan seperti sie akomodasi dan transportasi OLFACTION (*Olympiad of Statistics Action*) ITS tahun 2019, staf sub divisi kesekretariatan GERIGI ITS 2019, *Organizing Commitee* (OC) kaderisasi HIMADATA-ITS 2019, sie perlengkapan LKMW-TD HIMADATA-ITS 2019, Ketua pelaksana LKMW-TD HIMADATA-ITS tahun 2020, dan koordinator akomodasi dan transportasi OLFACTION (*Olympiad of Statistics Action*) ITS tahun 2020. Penghargaan yang pernah diraih oleh penulis yaitu lolos pendanaan lomba kewirausahaan yang diselenggarakan oleh Kemristekdikti yaitu Program Wirausaha Mahasiswa Vokasi tahun 2021. Penulis pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Pengantar Metode Statistika tahun 2019, Program Komputer 1 pada tahun 2020, dan Pengendalian Kualitas Statistik tahun 2021. Untuk menerapkan ilmu statistika yang diperoleh di perkuliahan, pada semester 7 penulis melakukan magang di PT. Terminal Petikemas Surabaya selama 5 bulan. Pertanyaan, kritik, dan saran mengenai Laporan Proyek Akhir ini dapat disampaikan kepada penulis melalui E-mail elinanormayanti085@gmail.com.