TUGAS AKHIR - RM184831

ANALISIS PERBANDINGAN AKURASI MODEL PASANG SURUT GLOBAL (FES2014, TPXO9) DAN REGIONAL (PREDIKSI BIG) TERHADAP KONDISI PASANG SURUT EKSISTING DI PERAIRAN SURABAYA DAN SEKITARNYA

CARINA NUR ROHMAWATI
NRP 033 1 16 4000 0045

Dosen Pembimbing
Khomsin, S.T., M.T.
Danar Guruh Pratomo S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR - RM184831

ANALISIS PERBANDINGAN AKURASI MODEL PASANG SURUT GLOBAL (FES2014, TPXO9) DAN REGIONAL (PREDIKSI BIG) TERHADAP KONDISI PASANG SURUT EKSISTING DI PERAIRAN SURABAYA DAN SEKITARNYA

CARINA NUR ROHMAWATI
NRP 033 1 16 4000 0045

Dosen Pembimbing
Khomsin, S.T., M.T.
Danar Guruh Pratomo S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

FINAL ASSIGNMENT - RM 184831

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF TIDAL GLOBAL (FES2014, TPXO9) AND REGIONAL (BIG PREDICTION) MODELS ACCURACY TO THE TIDES OBSERVATIONS IN SURABAYA AND SURROUNDING WATERS

CARINA NUR ROHMAWATI
NRP 033 1 16 4000 0045

Supervisor
Khomsin, S.T., M.T.
Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

ANALISIS PERBANDINGAN AKURASI MODEL PASANG SURUT GLOBAL (FES2014, TPXO9) DAN REGIONAL (PREDIKSI BIG) TERHADAP KONDISI PASANG SURUT EKSISTING DI PERAIRAN SURABAYA DAN SEKITARNYA

Nama : **Carina Nur Rohmawati**
NRP : **03311640000045**
Jurusan : **Teknik Geomatika FTSPK-ITS**
Pembimbing : **Khomsin, S.T., M.T.**
Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Data pasang surut (pasut) pengamatan yang berkelanjutan masih sangat terbatas. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan model pasut global dan regional. Pada penelitian ini, data elevasi prediksi model dibandingkan dan tingkat kesalahan dianalisis. Data yang digunakan adalah data pengamatan pasut di lima stasiun pasut di Perairan Surabaya dan sekitarnya. Data tersebut memiliki panjang data 39 jam. Data prediksi pasut model regional (prediksi BIG) dan data 9 konstituen harmonik pasut model global (FES2014 dan TPXO9) dianalisis untuk mendapatkan konstituen harmonik pasut: M_2, S_2, K_1, O_1, Q_1, N_2, K_2, P_1, dan M_4.

Data pengamatan pasut dan prediksi BIG diolah untuk memperoleh elevasi pasut 39 jam yang telah dikontrol kualitas begitu juga dengan data elevasi untuk prediksi model regional. Data model pasut global (FES2014 dan TPXO9), dilakukan interpolasi dan ekstraksi nilai konstituen harmonik pasut di titik stasiun kemudian dilakukan prediksi pasut menggunakan konstituen harmonik. Elevasi prediksi model regional dan global dilakukan koreksi *shifting* untuk menyamakan referensi terhadap elevasi pasut pengamatan. Perhitungan akurasi dilakukan dengan perhitungan tingkat kesalahan menggunakan RMSE.

Hasil perhitungan RMSE di seluruh stasiun pasut, model regional (prediksi BIG) memiliki nilai RMSE paling kecil dibandingan model global (FES2014 dan TPXO9) di 3 stasiun yaitu pada stasiun Gresik 1, Gresik 2, dan Gili Genting dengan nilai RMSE sebesar 0,303 m, 0,050 m, dan 0,155 m. Sedangkan nilai RMSE terbesar ditunjukkan oleh model global TPXO9 dibandingkan dengan model regional dan global (BIG Prediction dan FES2014) di 3 stasiun, yaitu di stasiun Gresik 1, Gresik 2, dan Bangkalan dengan nilai RMSE 0,420 m , 0,195 m dan 0,630 m.

Kata kunci: Akurasi, Konstituen Harmonik, Model, Pasang Surut, RMSE

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF TIDAL GLOBAL (FES2014, TPXO9) AND REGIONAL (BIG PREDICTION) MODELS ACCURACY TO THE TIDES OBSERVATION IN SURABAYA AND SURROUNDING WATERS

Student's Name : Carina Nur Rohmawati
Reg. Number : 03311640000045
Department : Geomatic Engineering CIVPLAN-ITS
Supervisor : 1. Khomsin, S.T., M.T.
2. Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

The tidal observation data in Indonesia is still very limited. These problems can be overcome by utilizing global and regional tidal models. In this study, the prediction elevation data of the models were compared and the error rate was analyzed. The data used in this research are tidal observation data at five tidal stations which are located in Surabaya and surrounding waters. These data have 39 hours duration. A regional model tide elevation data (BIG prediction) and global tidal models (FES2014 and TPXO9) were analyzed to achieve tidal harmonic constituents: M_2, S_2, K_1, O_1, Q_1, N_2, K_2, P_1, and M_4.

Tidal observation data was processed to obtain the quality tidal elevation of 39 hours—likewise, the elevation data for regional model predictions. From the global tidal model (FES2014 and TPXO9), interpolation, and extraction of tidal harmonic constituents are performed at the tidal station point, and then the tidal prediction is done by using the harmonic constituent. Tidal elevation prediction of regional and global models is carried out, shifting correction to equalize the reference to observed tidal elevation. The accuracy calculation is done by calculating the error rate using RMSE.

The RMSE calculation results show that in all tidal stations, the regional model (BIG prediction) has the smallest RMSE value compared to the global tidal model (FES2014 and TPXO9) at three tidal stations namely at Gresik 1, Gresik 2, and Gili Genting with an RMSE value of 0.303 m, 0.050 m, and 0.155 m. At the same time, the TPXO9 global tide model shows the biggest RMSE compared to the regional and global tidal model (BIG Prediction and FES2014) at three tidal stations, namely at the Gresik 1, Gresik 2, and Bangkalan with RMSE values of 0.420 m, 0.195 m, and 0.630 m.

Keywords: Accuracy, Harmonic Constituents, Models, Tides, RMSE

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERBANDINGAN AKURASI MODEL PASANG SURUT GLOBAL (FES2014, TPXO9) DAN REGIONAL (PREDIKSI BIG) TERHADAP KONDISI PASANG SURUT EKSISTING DI PERAIRAN SURABAYA DAN SEKITARNYA

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
CARINA NUR ROHMAWATI
NRP 0331 16 40000 045

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Khomsin, ST, MT
   NIP. 19750705 200012 1 001 ..... (Pembimbing I)

2. Danar Guruh Pratomo, ST, MT, Ph.D
   NIP. 19800507 200312 1 001 ..... (Pembimbing II)

SURABAYA, JULI 2020

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat, hidayat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **"Analisis Perbandingan Akurasi Model Pasang Surut Global (FES2014, TPXO9) dan Regional (Prediksi BIG) terhadap Kondisi Pasang Surut Eksisting di Perairan Surabaya dan Sekitarnya"**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tahap Strata I pada Jurusan Teknik Geomatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulusnya kepada:

1. Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya karena telah memberikan kelancaran, petunjuk, dan segala nikmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini.
2. Orang tua dan saudara penulis, Bapak dan Ibu, kakak, serta adik atas doa, dukungan, semangat, kasih sayang, dan pengorbanannya selama ini.
3. Bapak Khomsin S.T, M.T, selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan bimbingan dan masukkan kepada penulis.
4. Bapak Danar G. Pratomo S.T, M.T, Ph.D, selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika FTSPK-ITS sekaligus dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan saran serta dukungan kepada penulis.
5. Bapak Ir. Yuwono, MT, selaku dosen wali yang senantiasa memberikan dukungan dan masukan dari sejak awal masuk perkuliahan hingga lulus selama 4 tahun.
6. Ibu Hepi Hapsari Handayani ST, M.Sc, Ph.D, selaku Sekretaris I Departemen Teknik Geomatika yang selalu memberikan informasi dan bantuan tentang kelangsungan tugas akhir penulis.

7. Ibu Udiana Wahyu Deviantari S.T, M.T, selaku Sekretaris II Departemen Teknik Geomatika yang membantu penulis dalam meminjam sarana dan prasarana untuk mendukung penelitian penulis.
8. Kepada PT Pelayaran Alur Barat Surabaya dan PT Pelabuhan Indonesia III Cabang Gresik yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan pengambilan data untuk penelitian ini.
9. Angkatan 2016 yang telah menjadi keluarga dan bagian dari hidup penulis selama berkuliah di Teknik Geomatika dan selalu memberikan warna baru, dukungan, bantuan serta masukkan kepada penulis hingga saat ini.
10. Dan kepada pihak-pihak yang tidak dapat disebutkan yang telah membantu dan mempermudah penulis selama mengerjakan tugas akhir.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini oleh karena itu kritik dan saran sangat penulis harapkan untuk perbaikan laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberi manfaat sebaik-baiknya.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....i
ABSTRAK.....v
ABSTRACT.....vii
LEMBAR PENGESAHAN.....ix
KATA PENGANTAR.....xi
DAFTAR ISI.....xiii
DAFTAR GAMBAR.....xv
DAFTAR TABEL.....xix
BAB I PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang.....1
1.2 Rumusan Masalah.....3
1.3 Batasan Masalah.....4
1.4 Tujuan.....4
1.5 Manfaat.....5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....7
2.1 Pasang Surut Air Laut.....7
2.2 Model Global Pasang Surut Air Laut.....20
2.3 Model Regional Pasang Surut.....24
2.4 Metode Perataan Kuadrat Terkecil.....25
2.5 Metode Doodson.....28
2.6 Uji Korelasi.....29
2.7 Tingkat Kesalahan.....30
2.8 Uji T.....31
2.9 Penelitian Terdahulu.....32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....35
3.1 Lokasi Penelitian.....35
3.2 Data dan Peralatan.....36
3.3 Metodologi Penelitian.....37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....45
4.1 Hasil dan Analisis Pengolahan Data Pengamatan Pasut.....45

4.2 Hasil dan Analisis Pengolahan Data Prediksi Pasut Model Regional (Prediksi BIG) 54
4.3 Hasil dan Analisis Pengolahan Model Global Pasut FES2014 dan TPXO9.....63
4.4 Hasil dan Analisis Koreksi *Shifting* Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut 98
4.5 Hasil Perbandingan Perhitungan Prediksi Model Pasut.....111
4.6 Analisis Perbandingan Kesesuaian Model Pasut 122
4.7 Hasil Perhitungan *Chart Datum* Model Pasut.....124
BAB V PENUTUP 129
5.1 Kesimpulan 129
5.2 Saran 131
DAFTAR PUSTAKA 133
LAMPIRAN 139
BIODATA PENULIS 149

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Orbit Lintasan Bulan Mengelilingi Bumi dan Bumi Mengelilingi Matahari. 8
Gambar 2.2 Tiga Variasi Orbit Siklus Milankovitch 11
Gambar 2.3 Gaya Pembangkit Pasut 12
Gambar 2.4 Pasang Purnama dan Pasang Perbani 13
Gambar 2.5 Grafik Tipe Pasang Surut 14
Gambar 2.6 Palem Pasut 19
Gambar 3.1 Persebaran Stasiun Pengamatan Pasut 35
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan Penelitian 38
Gambar 3.3 Diagram Alir Tahap Pengolahan 40
Gambar 4.1 Grafik Pengamatan Pasut Surabaya 47
Gambar 4.2 Grafik Pengamatan Pasut Gresik 1 48
Gambar 4.3 Grafik Pengamatan Pasut Gresik 2 50
Gambar 4.4 Grafik Pengamatan Pasut Gili Genting 51
Gambar 4.5 Grafik Pengamatan Pasut Bangkalan 53
Gambar 4.6 Grafik Pasut Prediksi BIG Surabaya 55
Gambar 4.7 Grafik Pasut Prediksi BIG Gresik 1 57
Gambar 4.8 Grafik Pasut Prediksi BIG Gresik 2 58
Gambar 4.9 Grafik Pasut Prediksi BIG Gili Genting 60
Gambar 4.10 Grafik Pasut Prediksi BIG Bangkalan 62
Gambar 4.11 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Surabaya 67
Gambar 4.12 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Gresik 1 68
Gambar 4.13 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Gresik 2 70
Gambar 4.14 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Gili Genting 71
Gambar 4.15 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Bangkalan 72
Gambar 4.16 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Surabaya 74
Gambar 4.17 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Gresik 1 74
Gambar 4.18 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Gresik 2 75
Gambar 4.19 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Gili Genting 75
Gambar 4.20 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Bangkalan 76
Gambar 4.21 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Surabaya 79

Gambar 4.22 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Gresik 1.....81
Gambar 4.23 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Gresik 2.....83
Gambar 4.24 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Gili Genting 85
Gambar 4.25 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Bangkalan 87
Gambar 4.26 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Surabaya.....89
Gambar 4.27 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Gresik 1 91
Gambar 4.28 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Gresik 2 93
Gambar 4.29 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Gili Genting.....95
Gambar 4.30 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Bangkalan.....97
Gambar 4.31 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Surabaya 99
Gambar 4.32 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Surabaya 99
Gambar 4.33 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Surabaya.....100
Gambar 4.34 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Gresik 1 101
Gambar 4.35 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Gresik 1 102
Gambar 4.36 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Gresik 1.....102
Gambar 4.37 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Gresik 2 104
Gambar 4.38 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Gresik 2 104
Gambar 4.39 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Gresik 2.....105
Gambar 4.40 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Gili Genting.....106
Gambar 4.41 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Gili Genting.....107
Gambar 4.42 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Gili Genting 107

Gambar 4.43 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Bangkalan 109
Gambar 4.44 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Bangkalan 109
Gambar 4.45 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Bangkalan 110
Gambar 4.46 Perbandingan RMSE Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan 112
Gambar 4.47 Perbandingan Nilai Korelasi Prediksi Pasut terhadap Pengamatan 117

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Konstanta-konstanta Harmonik Pasang Surut 16
Tabel 2.2 Persamaan Datum Pasut 18
Tabel 2.3 Perbandingan Model Global Pasut FES2014 dan TPXO9 21
Tabel 2.4 Interpretasi Koefisien Korelasi 30
Tabel 3.1 Persebaran Lokasi Stasiun Pasut 36
Tabel 4. 1 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Surabaya 47
Tabel 4. 2 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Gresik 1 49
Tabel 4. 3 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Gresik 2 50
Tabel 4. 4 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Gili Genting 52
Tabel 4. 5 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Bangkalan 53
Tabel 4. 6 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Surabaya 56
Tabel 4. 7 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Gresik 1 57
Tabel 4. 8 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Gresik 2 59
Tabel 4. 9 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Gili Genting 60
Tabel 4. 10 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Bangkalan 62
Tabel 4. 11 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Surabaya 64
Tabel 4. 12 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Gresik 1 64
Tabel 4. 13 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Gresik 2 65
Tabel 4. 14 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Gili Genting 66
Tabel 4. 15 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Bangkalan 66
Tabel 4. 16 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Surabaya .. 79
Tabel 4. 17 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Gresik 1 ... 81
Tabel 4. 18 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Gresik 2 ... 83
Tabel 4. 19 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Gili Genting 85

Tabel 4. 20 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Bangkalan 87
Tabel 4. 21 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Surabaya..... 90
Tabel 4. 22 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Gresik 1..... 91
Tabel 4. 23 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Gresik 2..... 93
Tabel 4. 24 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Gili Genting 95
Tabel 4. 25 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Bangkalan 97
Tabel 4. 26 Nilai Residu Pasut Stasiun Surabaya..... 100
Tabel 4. 27 Nilai Residu Pasut Stasiun Gresik 1 103
Tabel 4. 28 Nilai Residu Pasut Stasiun Gresik 2 105
Tabel 4. 29 Nilai Residu Pasut Stasiun Gili Genting..... 108
Tabel 4. 30 Nilai Residu Pasut Stasiun Bangkalan..... 110
Tabel 4. 31 Nilai RMSE Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Tiap Stasiun 111
Tabel 4. 32 Tingkat Korelasi Prediksi Pasut terhadap Pengamatan Tiap Stasiun 115
Tabel 4. 33 Nilai Rata-rata Korelasi Prediksi Pasut terhadap Pengamatan di Seluruh Stasiun Pasut 119
Tabel 4. 34 Hasil Perhitungan Uji T..... 120
Tabel 4. 35 Nilai Amplitudo Terbesar dan Terkecil Hasil Interpolasi Konstituen Model Global..... 123
Tabel 4. 36 Hasil Perhitungan *Chart Datum* 124
Tabel 4. 37 Perhitungan Tipe Pasang Surut 127

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki 17.504 pulau, dengan luas perairan lautnya mencapai 6,4 juta km^2 dan garis pantai sepanjang kurang lebih 108.000 km (Badan Informasi Geospasial dan Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL 2018). Informasi mengenai hidro-oseanografi dalam perencanaan pengelolaan kekayaan laut dan mendukung aktivitas masyarakat pesisir sangatlah mutlak dibutuhkan. Salah satu parameter oseanografi yang sangat berpengaruh adalah pasang surut air laut (Syahputra dan Adhitya 2016).

Menurut Dronkers (1964), pasang surut (pasut) merupakan suatu fenomena pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara berkala yang diakibatkan oleh kombinasi gaya gravitasi dan gaya tarik menarik dari benda-benda astronomi terutama oleh matahari, bumi, dan bulan. Untuk mendapatkan informasi elevasi pasut dapat dilakukan pengamatan baik secara langsung maupun dengan bantuan teknologi satelit. Pengamatan secara langsung dapat dilakukan di pesisir pantai dengan stasiun pasut untuk mendapatkan data pengamatan pasang surut berupa elevasi permukaan laut yang diamati dengan interval waktu tertentu menggunakan *tide gauge* atau palem pasut. Seiring berkembangnya teknologi satelit altimetri pada tahun 1970, informasi mengenai pasut dalam skala global dapat diamati dengan memanfaatkan teknologi satelit altimetri yang dilengkapi dengan radar altimeter.

Pada tahun 2019, Indonesia telah memiliki 160 stasiun pasut dengan target 280 stasiun hingga akhir tahun 2024 dibawah koordinasi Badan Informasi Geospasial (Badan Informasi Geospasial 2019). Hal tersebut menyebabkan kebutuhan akan data pasut di sepanjang pantai-pantai di Indonesia belum dapat terakomodasi, sehingga data pasut

hasil pengamatan lapangan yang berkelanjutan masih sangat terbatas. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memanfaatkan model-model pasut. Pasut bersifat periodik terhadap waktu sehingga pergerakan gelombang pasut dapat dimodelkan menggunakan persamaan sinusoidal.

Model pasut global mulai diterbitkan pada tahun 1980 dengan model yang bernama Schwiderski, menggunakan data pendekatan inversi dari pengamatan pasang surut laut secara langsung (Andersen 1995). Pada tahun 1994, mulai adanya pengembangan teknologi satelit dan menghasilkan 12 model pasut global diterbitkan berdasarkan pada data satelit altimetri resolusi tinggi dari misi TOPEX/Poseidon yang dirancang untuk pengembangan model pasut global (Marpaung 2018). Sampai saat ini terdapat beberapa model pasut antara lain model pasang surut versi FES (*Finite Element Solution*), EOT (*Empirical Ocean Tide Model*), CSR (*Center for Space Research*), GOT (*Goddard Ocean Tide*), TPXO, dan lain-lain. Teknologi satelit altimetri telah membantu untuk membuat model pasut secara luas dan teliti baik secara regional maupun global untuk digunakan secara praktis.

Model pasut memiliki tingkat resolusi dan akurasi yang berbeda satu dengan lainnya. Tingkat keakuratan atau minimnya nilai kesalahan pemodelan sangat penting guna menyatakan apakah hasil pemodelan dapat merepresentasikan kondisi perairan sebenarnya atau tidak. Beberapa model pasang surut global (*global tide model*) telah diasimilasi dan divalidasi menggunakan data pasut perairan tertentu sehingga menghasilkan model pasut regional. Model pasang surut regional meningkat ketelitiannya di perairan tertentu dibandingkan model pasut global (Faridatunnisa 2015). Namun belum diketahui model pasut yang akurasinya paling mendekati kondisi eksisting, khususnya untuk Perairan Surabaya dan sekitarnya. Perairan Surabaya dan sekitarnya penting dalam kehidupan sehari-hari terutama pada bidang sosial, ekonomi, dan keamanan.

Pada penelitian ini dilakukan analisis perbandingan akurasi *regional* dan *global tide model* untuk mengetahui model pasang surut yang mendekati kondisi pasang surut di wilayah Perairan Surabaya dan sekitarnya di lima titik stasiun pasut dengan data pengamatan langsung sebagai referensi. Model yang dianalisis yaitu model pasang surut global FES2014 dan TPXO9, model regional dari data prediksi pasang surut Badan Informasi Geospasial (BIG). Pemilihan model tersebut dikarenakan model regional BIG merupakan asimilasi dari data pasang surut Perairan Indonesia dan model TPXO7. Model global TPXO9 digunakan karena merupakan model terbaru dari model global pasang surut TPXO dengan resolusi spasial yang lebih baik. Model FES2014 dipilih karena merupakan model terbaru dengan resolusi spasial yang baik dan ukuran grid yang rapat. Semakin kecil selisih antara elevasi pasut model dengan data pengamatan pasut maka model pasang surut tersebut semakin merepresentasikan kondisi pasang surut sebenarnya di perairan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka muncul perumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana menghitung elevasi prediksi *global tide model* FES2014 dan TPXO9 pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya?
2. Bagaimana menghitung akurasi elevasi prediksi pasut *global tide model* (FES2014, TPXO9) dan elevasi model pasut regional (prediksi BIG) terhadap elevasi pasut pengamatan pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya?
3. Bagaimana menentukan model pasut yang paling mendekati kondisi pasang surut eksisting pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya?

4. Bagaimana menghitung *chart datum* menggunakan elevasi prediksi *global tide model* (FES2014, TPXO9) dan elevasi model pasut regional (prediksi BIG) pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya?

1.3 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian ini antara lain:

1. Daerah studi penelitian terletak di Perairan Surabaya dan sekitarnya.
2. Data *global tide model* yang digunakan yaitu data konstituen harmonik dari model FES2014 dan TPXO9.
3. Nilai konstituen harmonik pasang surut laut model global yang digunakan adalah nilai amplitudo dan fase 9 konstituen pasut yang terdiri dari M_2, S_2, K_1, O_1, Q_1, N_2, K_2, P_1, dan M_4.
4. Data model pasut regional yang digunakan adalah data prediksi elevasi pasut milik Badan Informasi Geospasial (BIG).
5. Data elevasi pasut pengamatan digunakan sebagai referensi.
6. *Chart datum* yang dihitung adalah HHWL (*Highest High Water Level*), MSL (*Mean Sea Level)*, dan LLWL (*Lowest Low Water Level).*
7. Membandingan nilai elevasi prediksi pasut masing-masing model terhadap elevasi pasut referensi.

1.4 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung elevasi prediksi *global tide model* FES2014 dan TPXO9 pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya.
2. Menghitung akurasi nilai elevasi prediksi pasut *global tide model* (FES2014, TPXO9) dan model pasut

regional BIG terhadap elevasi pasut pengamatan pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya dengan menghitung nilai standar deviasi dan RMS *Error*.

3. Menganalisis model pasut yang paling mendekati kondisi pasang surut eksisting pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya.
4. Menghitung *chart datum* menggunakan data elevasi prediksi *global tide model* (FES2014, TPXO9) dan elevasi model pasut regional (prediksi BIG) pada masing-masing titik di Perairan Surabaya dan sekitarnya.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai bahan rekomendasi model pasut yang mendekati kondisi pasut eksisting pada Perairan Surabaya dan sekitarnya sehingga pihak berkepentingan seperti instansi-instansi terkait yang membutuhkan data pasang surut pada Perairan Surabaya dan sekitarnya yang jauh dari lokasi stasiun pasang surut cukup menggunakan model pasut untuk keperluan praktis tanpa harus melakukan pengamatan di lapangan.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut air laut (pasut) adalah fenomena naik turunnya permukaan air laut secara periodik yang disebabkan oleh pengaruh gravitasi benda-benda langit terutama bulan dan matahari (Poerbandono dan Djunarsjah 2005). Pasang surut berasal dari lautan dan bergerak menuju garis pantai dan muncul sebagai permukaan air laut yang naik dan turun secara teratur. Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan (NOAA 2004).

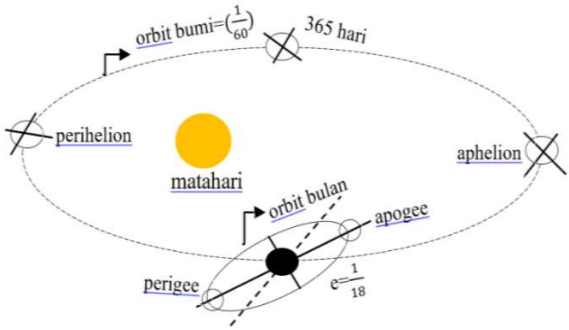
2.1.1 Gaya Penggerak Pasang Surut

Pembentukan terjadinya pasang surut didasarkan pada dua teori yaitu teori kesetimbangan dan teori dinamis. Menurut Wyrtki (1961), faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya pasut berdasarkan teori kesetimbangan adalah rotasi bumi pada sumbunya, revolusi bulan terhadap matahari, revolusi bumi terhadap matahari. Sedangkan berdasarkan teori dinamis adalah kedalaman dan luas perairan, pengaruh rotasi bumi (gaya *coriolis*), dan gesekan dasar. Selain itu juga terdapat beberapa faktor lokal yang dapat mempengaruhi pasut di suatu perairan seperti, topogafi dasar laut, lebar selat, bentuk teluk, dan sebagainya sehingga berbagai lokasi memiliki ciri pasang surut yang berbeda.

Dari semua faktor yang mempengaruhi proses naik turunnya muka laut, faktor astronomi atau benda angkasa (matahari dan bulan) yang sangat berpengaruh terhadap proses pembentukan pasut. Jika

semua gerakan menurut teori kesetimbangan berada pada satu bidang datar yang berimpit dengan bidang khatulistiwa bumi, prediksi pasut akan menjadi sangat sederhana. Kenyataanya sumbu bumi membentuk sudut 66,5˚ dengan bidang orbit bumi terhadap matahari (*ecliptic planet*) dan bidang orbit bulan membentuk sudut sebesar 5˚0' terhadap bidang ekliptik. Keadaan ini menyebabkan sudut deklinasi bulan terhadap bumi dapat mencapai 28,5˚ lintang utara atau selatan setiap 18,6 tahun sekali. Fenomena ini menghasilkan konstanta pasut periode panjang yang disebut *nodal tide* (Yuliadi 2008).

Ilustrasi bulan mengelilingi bumi dan bumi mengelilingi matahari dapat dilihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



Gambar 2.1 Orbit Lintasan Bulan Mengelilingi Bumi dan Bumi Mengelilingi Matahari.
(Marpaung 2018)

Pemahaman akan sistem bumi, bulan, matahari secara astronomis merupakan landasan untuk mengembangkan beberapa teori, salah satu teori astronomi yang berpengaruh terhadap iklim di bumi

yang dapat juga mempengaruhi perubahan muka air laut adalah teori Milankovitch melalui konsep siklus Milankovitch. Satu abad yang lalu, ilmuwan Serbia bermana Milutin Milankovitch berhipotesis tentang efek kolektif jangka panjang dari perubahan posisi Bumi relatif terhadap Matahari adalah pendorong kuat iklim jangka panjang Bumi, dan bertanggung jawab untuk memicu awal dan akhir periode glasial (*Ice Age*) (NASA 2020).

Siklus Milankovitch mengkaji tiga variasi orbit yaitu perubahan pada eksentrisitas orbit bumi (*eccentricity*), kemiringan sumbu bumi (*obliquity*), dan presisi sumbu rotasi bumi (*precession).* Ilustrasi tiga variasi orbit Siklus Milankovitch ada pada Gambar 2.2. Penjelasan ketiga variasi orbit tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Eccentricity* (Eksentrisitas)

   Perubahan eksentrisitas mempengaruhi jarak bumi terhadap matahari. Saat ini, perbedaan hanya 3 persen (5 juta kilometer) ada antara jarak terdekat (perihelion), yang terjadi pada 3 Januari, dan jarak terjauh (aphelion), yang terjadi pada 4 Juli. Perbedaan jarak ini sekitar 6 persen peningkatan radiasi matahari yang masuk (insolasi). Bentuk orbit bumi berubah dari elips (eksentrisitas tinggi) menjadi hampir lingkaran (eksentrisitas rendah) dalam siklus membutuhkan waktu sekitar 90.000 sampai 100.000 tahun. Ketika orbitnya sangat elips, jumlah insolasi yang diterima pada perihelion akan berada pada urutan 20 hingga 30 persen lebih besar dari pada aphelion, menghasilkan iklim yang jauh

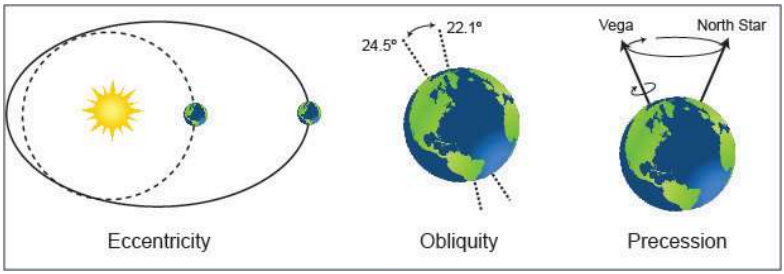
berbeda dari yang dialami saat ini (NASA Observatory 2000).

2. *Obliquity* (Kemiringan)

   Obliquity adalah variasi kemiringan poros bumi dari bidang orbit. Variasi kemiringan adalah 22,1^{o} and 24,5^{o} dan bumi saat ini duduk di 23,5 derajat, yang menghasilkan musim panas yang hangat dan musim dingin yang sejuk. Siklus ini terjadi tiap 41.000 tahun. Pada 24,5 derajat musim akan jauh lebih ekstrem, musim dingin menjadi lebih dingin dan musim panas lebih hangat. Pada 22,1 derajat, musim dingin akan sedikit lebih hangat yang menghasilkan peningkatan kelembaban dan musim panas akan menjadi lebih dingin menyebabkan lapisan es mencair dengan kecepatan yang jauh lebih lambat yang akan mendorong pertumbuhan lapisan es (Pomerantz dan Donev 2017).

3. *Precession* (Presisi)

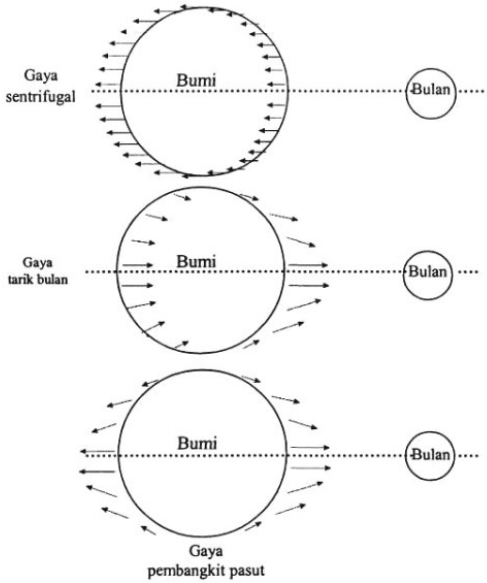
   Presesi adalah goyangan lambat Bumi saat berputar pada poros. Goyangan Bumi pada porosnya ini bisa disamakan dengan gasing yang mengalir ke bawah, dan mulai goyah bolak-balik pada porosnya. Presesi memiliki periode siklus 23.000 tahun. Kutub langit akan menghadapi Bintang Utara yang berbeda. Bintang Utara kita saat ini adalah Polaris tetapi ketika kutub bergeser, Bintang Utara menjadi Vega. Pergeseran arah menyebabkan musim dingin dan musim panas terbalik (Pomerantz dan Donev 2017).



Gambar 2.2 Tiga Variasi Orbit Siklus Milankovitch (Pomerantz dan Donev 2017).

Pada permukaan bumi, gaya penggerak pasut dihasilkan dari dua resultan gaya yaitu gaya gravitasi bumi terhadap bulan dan matahari serta gaya sentrifugal akibat dari rotasi bumi dan bulan. Gaya sentrifugal merupakan gaya yang arahnya berlawanan dengan gaya gravitasi yang menyebabkan bumi dan bulan tidak bertubrukan. Di pusat bumi, gaya sentrifugal diimbangi oleh gaya tarik bulan yang artinya di pusat bumi kedua gaya tersebut memiliki gaya yang sama besar. Oleh karena besarnya gaya tarik bulan pada setiap partikel massa di bumi berbeda-beda, sedangkan gaya sentrifugal yang dialaminya sama besar (sama dengan gaya tarik bulan di pusat bumi), maka hal tersebutlah yang menghasilkan gejala pasang surut air laut (Azis 2006).

Gaya yang menentukan pergerakan pasut diilustrasikan pada Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Gaya Pembangkit Pasut
(Azis 2006)

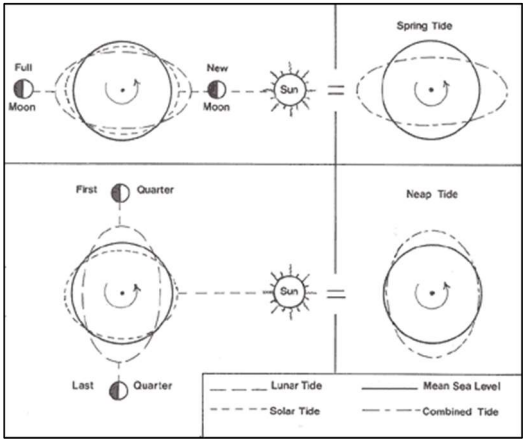
2.1.2 Tipe Pasang Surut

Tipe pasang surut biasanya dipengaruhi oleh faktor lokalitas laut secara khusus, sehingga membedakan karakter pasang surut antara satu tempat dengan tempat yang lain (Wirayuda 2017). Berdasarkan pada posisi matahari dan bulan terhadap bumi pasang surut air laut dapat dibedakan menjadi dua menurut Wardiyatmoko, K dan H.R. Bintarto (1994) dalam Surinati (2017), adalah sebagai berikut:

1. Pasang surut purnama (*spring tide*) adalah pasang yang terjadi ketika bumi, bulan, dan matahari berada dalam suatu garis lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang sangat tinggi dan pasang rendah yang sangat rendah. Pasang surut purnama ini terjadi pada saat bulan baru dan bulan

purnama (konjungsi dan oposisi). Posisi matahari, bumi, dan bulan dijelaskan pada Gambar 2.4.

2. Pasang surut perbani (*neap tide*) adalah pasang yang terjadi ketika bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus. Pada saat itu akan dihasilkan pasang tinggi yang rendah dan pasang rendah yang tinggi. Pasang surut perbani ini terjadi pada saat bulan 1/4 dan 3/4. Posisi matahari, bumi, dan bulan dijelaskan pada Gambar 2.4.



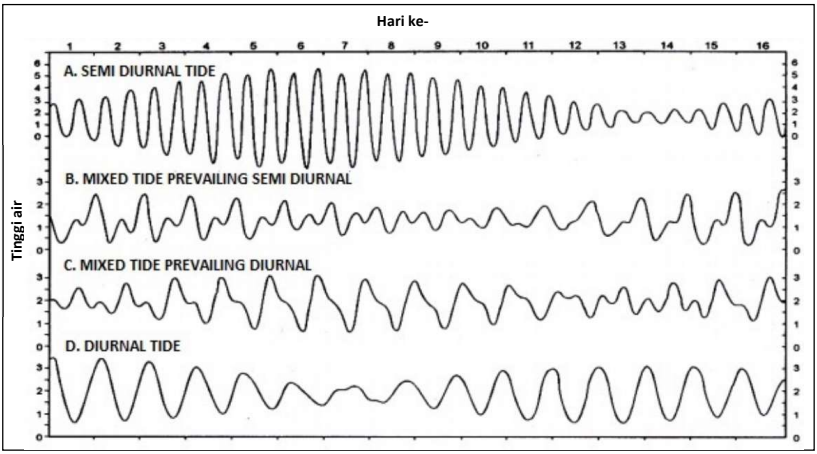
Gambar 2.4 Pasang Purnama dan Pasang Perbani (Fisheries and Ocean Canada 2019)

Menurut Wyrtki (1961), tipe pasang surut di Indonesia dibagi menjadi 4 yaitu:

1. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), merupakan pasut yang hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari, tipe ini terdapat di Selat Karimata.
2. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang tingginya hampir sama dalam

satu hari, ini terdapat di Selat Malaka hingga Laut Andaman.

3. Pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), merupakan pasut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan waktu, ini terdapat di Pantai Selatan Kalimantan dan Pantai Utara Jawa Barat.
4. Pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*), merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dengan memiliki tinggi dan waktu yang berbeda, ini terdapat di Pantai Selatan Jawa dan Indonesia Bagian Timur. Gambar 2.5 menunjukkan grafik pola tipe pasang surut adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5 Grafik Tipe Pasang Surut
(Modifikasi dari Prasetyo, dkk. 2016)

Menurut Benyamin dkk (2007), konstanta harmonik pasut yang merupakan hasil dari pengolahan data pasut dapat digunakan unuk penentuan tipe pasut yang terjadi di suatu perairan dengan menentukan perbandingan antara amplitudo (tinggi gelombang) unsur-unsur pasang surut tunggal utama dengan unsur-unsur pasang surut ganda utama menggunakan bilangan *Formzahl* dengan mengacu pada persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$F = \frac{A_{K1}+A_{O1}}{A_{M2}+A_{S2}} \tag{2.1}$$

Keterangan :

F : bilangan *Formzahl*
A_{K1} : amplitudo konstituen K1
A_{O1} : amplitudo konstituen K2
A_{M2} : amplitude konstituen M2
A_{S2} : amplitudo konstituen S2

Menurut Triatmodjo (2010), dilihat dari pola gerakan muka lautnya dan nilai *formzahl*, pasang surut dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu:

a. F ≤ 0,25, *semi diurnal tide* atau pasut harian ganda
b. 0,25 < F ≤ 1,5, pasang surut campuran condong harian ganda (*mixed tide, prevailing semi diurnal*)
c. 1,5 < F ≤ 3, pasang surut campuran condong harian tunggal (*mixed tide, prevailing diurnal*)
d. F > 3, *diurnal tide* atau pasut harian tunggal.

2.1.3 Konstituen Harmonik Pasang Surut

Tujuan dari analisis harmonik pasut adalah untuk menghasilkan parameter pasut yang stabil terhadap waktu yang signifikan yang menggambarkan pasut di tempat pengamatan. Parameter-parameter tersebut sering disebut konstituen harmonik pasut dengan asumsi bahwa respons laut dan samudera terhadap gaya pasut tidak berubah seiring waktu. Analisis harmonik pasut yang baik adalah yang berusaha menggambarkan kondisi pasut dengan beberapa angka stabil yang berarti sesuatu secara fisik. Secara umum, semakin lama periode pasut maka semakin besar jumlah konstituen yang dapat ditentukan secara independen (Pugh 2001). Konstituen pasang surut mempunyai nilai amplitudo dan periode yang berbeda-beda dari setiap komponen harmonik. Adapun 9 konstituen utama menurut Poerbandono dan Djunarsah (2005) ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Konstanta-konstanta Harmonik Pasang Surut (Poerbandono dan Djunarsjah 2005)

Nama Konstanta	**Simbol**	**Perioda (jam)**	**Fenomena**
Principal lunar	M_2	12,42	Gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
Principal solar	S_2	12,00	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
Larger lunar elliptic	N_2	12,66	Perubahan jarak bulan dengan bumi akibat lintasan elips

Nama Konstanta	Simbol	Perioda (jam)	Fenomena
Luni solar semi diurnal	K_2	11,98	Perubahan jarak bumi dengan matahari akibat lintasan elips
Luni solar diurnal	K_1	23,93	Deklinasi sistem bulan dan matahari
Principal lunar diurnal	O_1	25,82	Deklinasi bulan
Principal solar diurnal	P_1	24,07	Deklinasi Matahari
Main lunar	M_4	6,21	Dua kali kecepatan sudut M2 akibat pengaruh bulan di perairan dangkal
Main lunisolar	MS_4	6,20	Interaksi M2 dan S2 di perairan dangkal

2.1.4 Datum Pasang Surut

Datum pasang surut adalah datum lokal yang ditentukan berdasarkan pada sebuah fase pasang surut. Pada saat melakukan pengamatan pasang surut air laut akan didapatkan beberapa referensi ketinggian. Referensi ketinggian ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti referensi ketinggian pada peta, serta sebagai pedoman dalam pembuatan atau perencanaan pembangunan pesisir. Setidaknya dalam penelitian ini digunakan tiga referensi ketinggian untuk mengetahui tingkat muka air laut tertinggi, terendah, dan rata-rata dari masing-masing stasiun pasut yaitu HHWL (*Highest High Water Level*) yang merupakan air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati, LLWL (*Lowest Low Water Level*) yang merupakan air terendah pada saat pasang

surut bulan purnama atau bulan mati, dan MSL (*Mean Sea Level*) yang merupakan tinggi air rata-rata dari muka air laut,. Dengan menggunakan nilai-nilai konstituen harmonik, referensi ketinggian dapat dihitung. Ketentuan untuk menghitung nilai MSL, HHWL, dan LLWL menurut Taufik dan Safitri (2014) ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Persamaan Datum Pasut
(Taufik dan Safitri 2014)

Simbol	**Persamaan**
Highest High Water Level (HHWL)	$S_0+(M_2+S_2+K_2+K_1+O_1+P_1)$
Mean Sea Level (MSL)	S_0
Lowest Low Water Level (LLWL)	$S_0-(M_2+S_2+K_2+K_1+O_1+P_1)$

2.1.5 Pengamatan Pasang Surut

Pengamatan pasut dapat diukur secara manual menggunakan palem pasut (*tide pole*) atau secara otomatis menggunakan *tide gauge* (tipe akustik dan tekanan), jenis radar, pelampung GPS, atau satelit altimetri. Pengukuran menggunakan palem pasut mungkin tidak seakurat dengan pengamatan pasut secara otomatis karena data yang dihasilkan hanya tergantung pada kemampuan pengamatan yang melihat rambu ukur saja (Bancin 2012).

Palem pasut (*tide pole*) merupakan alat sederhana yang terbuat dari kayu dengan ukuran panjang sekitar 3-5 meter, lebar 5-15 cm sedangkan tebalnya 1-4 cm. Alat ukur ini mirip seperti rambu ukur di mana mempunyai skala bacaan dalam satuan sentimeter. Agar ukuran pengamatan air laut benar, maka pemasangan palem harus tegak lurus dengan

permukaan air laut. Selain terbuat dari kayu, palem pasut juga dapat dibuat dari pelat tipis atau pita plastik. Pemasangan palem pasut sebaiknya memperhatikan hal-hal yang mempengaruhi kualitas data pengamatan pasut. Pemasangan palem pasut dapat dilihat seperti pada Gambar 2.6 berikut:

Gambar 2.6 Palem Pasut
(Ferdiansyah 2019)

Pemasangan palem harus kokoh, tidak berubah naik turun. Selain itu lokasi diusahakan agar tidak terganggu oleh kapal yang lewat atau benda terapung lainnya. Tinggi muka air setiap jam diamati secara manual oleh operator (pencatat) dan dicatat pada suatu formulir pengamatan pasut. Pencatat akan menuliskan kedudukan tinggi muka air laut relatif terhadap palem pada jam-jam tertentu sesuai dengan skala bacaan yang tertulis pada palem. Muka air laut yang relatif tidak tenang membatasi kemampuan pencatatan dalam menaksir bacaan skala. Walaupun demikian, cara ini

cukup efektif untuk memperoleh data pasut dengan ketelitian hingga sekitar 2,5 cm (Poerbandono dan Djunarsjah 2005).

2.2 Model Global Pasang Surut Air Laut

Data pasut hasil pengukuran lapangan yang berkelanjutan masih sangat terbatas dan kebutuhan akan data pasut belum dapat terakomodasi untuk perairan tertentu, model pasang surut global menjadi pilihan terbaik. *Global tide model* memberikan pemodelan pasang surut di seluruh laut di permukaan bumi, baik di lautan luas maupun di lautan pesisir yang diperoleh dari pengamatan tinggi muka air laut dengan batimetri maupun stasiun tetap pasang surut laut dan beberapa misi satelit altimetri pada seluruh permukaan bumi yang tertutup air laut dalam suatu periode tertentu. Sampai saat ini terdapat beberapa model pasang surut laut antara lain model pasang surut versi FES (*Finite Element Solution*), EOT (*Empirical Ocean Tide Model*), CSR (*Center for Space Research*), GOT (*Goddard Ocean Tide*), TPXO, dan lain-lain. Keakurasian model pasut global ini bergantung pada wilayah perairan tertentu (*region-dependent*) dimana keakurasiannya memburuk untuk daerah pesisir atau perairan dangkal (Fu dan Cazenave 2000).

Berdasarkan Zahran dkk. (2006), model pasut global dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori yaitu:

a. Model Empirik (*Empirical Model*). Model berdasarkan analisis data altimetri untuk mengekstrak berbagai sinyal pasut. Model ini pertama kali diikuti oleh satelit altimetri Geosat yang kemudian dilanjutkan oleh TOPEX/Poseidon. Produk dari model ini adalah model CSR (*Center for Space Research*) dan GOT (*Goddard Ocean Tide*).
b. Model Hidrodinamika (*Hydrodynamic Model*). Model hidrodinamik murni yang dihitung tanpa asimilasi data.

Model yang termasuk kategori ini adalah *Finite Element Solution* (FES 95.2) dan ICOM.

c. Model Asimilasi (*Assimilation Model*). Model dinamis dengan asimilasi dari data pasut observasi (altimeter, stasiun pasut pesisir dan *pelagic*). Contohnya model NAO, ORI, TPXO dan FES.

Pada penelitian ini, menggunakan dua model pasut global dengan perbandingan secara garis besar dapat dilihat pada Tabel 2.3 sebagai berikut (Marpaung 2018):

Tabel 2.3 Perbandingan Model Global Pasut FES2014 dan TPXO9

Model	**FES2014**	**TPXO9**
Tipe	Asimilasi model	Asimilasi model
Lama pengamatan	20 tahun *long altimeter time series dan tide gauges*	20 tahun *long altimeter time series dan tide gauges*
Data altimeter	Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2, TPN-J1N, dan ERS-1, ERS-2, ENVISAT	Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2, ERS-2, ENVISAT
Negara	Perancis	USA
Grid	1/16°	1/30°
Konstanta yang tersedia	$2N_2$, EPS_2, J_1, K_1, K_2, L_2, La_2, M_2, M_3, M_4, M_6, M_8, Mf, MKS_2, Mm , MN_4, MS_4, MS_f, MSqm, Mtm, Mu_2, N_2, N_4, Nu_2, O_1, P_1, Q_1, R_2, S_1, S_2, S_4, Sa, Ssa, T_2.	$2N_2$, K_1, K_2, M_2, M_4, MN_4, MS_4, N_2, O_1, P_1, Q_1, dan S_2
Sumber	Lyard, dkk. (2006)	Egbert, dkk. (2010)

2.2.1 Model Global Pasang Surut FES2014

Model global pasut *FES* (*Finite Element Solution*) mulai dikembangkan pada tahun 1994 dengan sebutan model Le Provost atau model global FES94.1. Pada tahun 2014 hingga tahun 2016, mulai dikembangkan model yang terbaru yaitu model global pasut FES2014 yang merupakan perbaikan dari model global FES2012. Model global pasut FES2014 telah dikembangkan, diimplementasikan dan divalidasi oleh LEGOS, NOVELTIS dan CLS, dalam proyek yang didanai oleh CNES. FES di produksi oleh kelompok pasang surut laut Perancis yang dipimpin oleh C. Le Provost dkk (Lyard, dkk. 2006).

Kelebihan model FES2014 dari model FES sebelumnya adalah memanfaatkan deret waktu altimeter yang lebih panjang dan standar altimeter yang lebih baik, pemodelan yang lebih baik dan teknik asimilasi data, batimetri laut yang lebih akurat dan jaring yang disempurnakan di sebagian besar wilayah perairan dangkal. Upaya khusus telah didedikasikan untuk mengatasi masalah pasang surut non-linier utama dan untuk penentuan arus pasang surut yang akurat. FES2014 didasarkan pada resolusi persamaan barotropik pasut (model T-UGO) dalam konfigurasi spektral.

Grid elemen hingga global baru (~2,9 juta node, 50% lebih banyak dari FES2012) digunakan dan model fisik telah ditingkatkan, yang mengarah ke solusi 'bebas' yang hampir dua kali lebih akurat (independen dari data in-situ dan penginderaan jauh) daripada versi FES2012 sebelumnya. Kemudian keakuratan solusi 'bebas' ini ditingkatkan dengan mengasimilasi data altimetri jangka panjang

(Topex/Poseidon, Jason-1, Jason-2, TPN-J1N, dan ERS-1, ERS-2, ENVISAT) dan pengukur pasang surut melalui metode asimilasi *representer* yang lebih baik.

Sebanyak 34 konstituen pasut didistribusikan pada 1/16° *grid* (amplitudo dan fase) untuk setiap produk pasut yaitu $2N_2$, EPS_2, J_1, K_1, K_2, L_2, La_2, M_2, M_3, M_4, M_6, M_8, Mf, MKS_2, Mm , MN_4, MS_4, MS_f, MSqm, Mtm, Mu_2, N_2, N_4, Nu_2, O_1, P_1, Q_1, R_2, S_1, S_2, S_4, Sa, Ssa, T_2. Algoritma prediksi baru didistribusikan dalam model FES2014 untuk memberikan elevasi dan arus pasang surut di lokasi manapun di lautan dunia. Kode prediksi baru ini memungkinkan penghitungan 11 konstituen HF komplementer dengan menggunakan metode *admittance* tertentu dan sekitar 100 gelombang laut kesetimbangan jangka panjang (Lyard, dkk. 2006).

2.2.2 Model Global Pasang Surut TPXO9

TPXO adalah serangkaian model pasang surut laut global yang diolah menggunakan kuadrat terkecil, persamaan *tidal laplace*, model pasang surut air laut menggunakan kombinasi dari data pengamatan langsung dan satelit altimetri. Setiap model berikutnya dalam seri TPXO didasarkan pada data batimetri yang diperbarui dan mengasimilasi lebih banyak data dibandingkan dengan versi sebelumnya. Model TPXO diperoleh dengan OTIS. Konstituen harmonik pasang surut laut disediakan sebagai amplitudo kompleks elevasi permukaan laut relatif bumi untuk delapan primer yaitu M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, Q_1, dua periode panjang yaitu Mf, Mm dan tiga non-linier yaitu M_4, MS_4, MN_4 konstituen harmonik tambahan $2N_2$ dan S_1 untuk Model global pasut TPXO9. Model global

TPXO9 memiliki resolusi jarak paling baik yaitu 1/30° yang cocok untuk negara kepulauan (Egbert, dkk. 2010).

2.3 Model Regional Pasang Surut

Model pasang surut laut regional adalah prediksi pasang surut buatan BIG yang mencakup wilayah Indonesia dan tersedia secara *online*. Pada layanan Prediksi Pasut, terdapat informasi prediksi pasut *online*, konstituen harmonik, dan datum pasut. Informasi prediksi pasut *online* yang disediakan BIG merupakan elevasi pasang surut dapat diunduh pada halaman http://tides.big.go.id/index.html dengan format *.txt. Informasi konstituen harmonik yang tersedia antara lain K_1, K_2, M_2, N_2, O_1, P_1, Q_1, dan S_2.

Konstituen harmonik model BIG memiliki format *.nc (netCDF) yang dapat diunduh pada halaman http://tides.big.go.id/pasut/konstanta/. Informasi mengenai datum pasut yang tersedia antara lain HAT (*High Astronomical Tide*), LAT (*Low Astronomical Tide*), dan MSL. Perbedaan antara datum pasut yang digunakan dalam penelitian yaitu HHWL dan LLWL dengan datum pasut HAT dan LAT yang tersedia pada model regional adalah HHWL dan LLWL pada penelitian ini dapat dihitung menggunakan periode data pasut selama pengamatan sedangkan HAT dan LAT adalah tingkat tertinggi dan tingkat terendah yang dapat diperkirakan terjadi karena kombinasi kondisi meteorologi dan astronomi suatu perairan. HAT dan LAT bukan tingkat yang ekstrim, karena kondisi meteorologi tertentu dapat menyebabkan tingkat yang lebih tinggi atau lebih rendah. HAT dan LAT ditentukan dengan menggunakan data pengamatan atau prediksi pasut periode beberapa tahun (National Oceanography Centre (NOC) dan University of Liverpool

2020). Datum pasut model BIG juga memiliki format netCDF dan dapat diunduh pada halaman http://tides.big.go.id/pasut/datum/. Model BIG memiliki interval data dengan kerapatan 0°2’31,2’’, nilai tersebut dapat diketahui ketika membuka *file* netCDF (Hadi 2016).

Format data netCDF (*Network Common Data Form*) adalah satu set *library* yang didalamnya sudah terdapat keterangan tentang data dan metadata (*self-describing file*, SDF), dengan format, dan akses yang berorientasi pada data ilmiah berbentuk *array* atau matriks. Bahasa pemrograman antarmuka yang mendukung dan memelihara format data netCDF adalah C, C++, Java, dan Fortran. Pemrograman antarmuka juga tersedia untuk Python, IDL, MATLAB, R, Ruby, dan Perl (UCAR Community Programs 2020).

NetCDF dapat digunakan untuk menyimpan data ilmiah multidimensi (variabel) seperti suhu, kelembaban, tekanan, kecepatan angin, dan arah (ESRI 2020). Format data netCDF memiliki kelebihan dalam hal pendeskripsian data, sehingga pengguna lain dapat mengetahui deskripsi data secara jelas. Tiga deskripsi utama dalam format data netCDF adalah variabel (suhu, kelembaban, tekanan, kecepatan angin, arah, dst), dimensi (*latitude, longitude, level, time,* dst.) dan atribut global (*units, valid_range*, dst) (Sepriando dan Trisantikawaty 2016).

2.4 Metode Perataan Kuadrat Terkecil

Pada prinsipnya, metode perataan kuadrat terkecil atau *least square* meminimumkan persamaan elevasi pasut sehingga diperoleh persaman simultan. Kemudian persamaan simultan tersebut diselesaikan dengan metode numerik sehingga diperoleh konstituen pasut. Konstituen pasut terdiri dari nilai perubahan amplitudo dan keterlambatan fase. Nilai konstanta harmonik pasang surut

laut yang diamati dari variasi naik turunnya muka laut adalah hasil penjumlahan (superposisi) dari semua gelombang komponen harmonik pasang surut yang terjadi yang dapat dituliskan pada persamaan 2.2 sebagai berikut (Ongkosongo 1989).

$$\eta = \eta_{ast} + \eta_{met} + \eta_{shall} \tag{2.2}$$

Keterangan :

η	:	Elevasi pasang surut laut (m)
η_{ast}	:	Elevasi pasang surut laut yang timbul oleh faktor astronomi (m)
η_{met}	:	Elevasi pasang surut laut yang timbul oleh faktor meteorologi (m)
η_{shall}	:	Elevasi pasang surut laut yang timbul untuk perairan dangkal (m)

Komponen pasang surut yang timbul oleh faktor astronomi dan perairan dangkal bersifat periodik. Sedangkan, gangguan meteorologi sifatnya musiman dan sesaat saja. Sehingga tanpa memperhatikan faktor meteorologi, elevasi pasang surut laut merupakan penjumlahan dari komponen yang membentuknya. Dengan demikian tinggi muka air pada suatu saat t_i dapat dituliskan dalam persamaan 2.3 sebagai berikut (Ongkosongo 1989):

$$\eta(t_i) = S_0 + \sum_{n=1}^{i} H_n \cos(\omega_n t_i - g_n) \tag{2.3}$$

Karena nilai $\cos(a - b) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)$, maka perumusan (2.3) menjadi:

$$\eta(t_i) = S_0 + \sum_{n=1}^{i} H_n \cos(\omega_n t_i)\cos(g_n) + \sum_{n=1}^{i} H_n \sin(\omega_n t_i)\sin(g_n) \tag{2.4}$$

Dengan $A_n = H_n \cos(g_n)$ dan $B_n = H_n \sin(g_n)$, maka persamaan (2.4) menjadi :

$$\eta(t_i) = S_0 + \sum_{n=1}^{i} A_n \cos(\omega_n t_i) + \sum_{n=1}^{i} B_n \sin(\omega_n t_i) \quad (2.5)$$

Parameter A_n dan B_n digunakan untuk menghitung amplitudo dan beda fase dari komponen-komponen pasang surut laut yang dicari dengan persamaan 2.6 sebagai berikut:

$$A_n = H_n \cos(g_n) \text{ dan } B_n = H_n \sin(g_n) \quad (2.6)$$

$$A_n^2 + B_n^2 = H_n^2 \cos^2(g_n) + H_n^2 \sin^2(g_n) \quad (2.7)$$

$$A_n^2 + B_n^2 = H_n^2(\cos^2(g_n) + \sin^2(g_n)) \quad (2.8)$$

$$(\cos^2(g_n) + \sin^2(g_n)) = 1 \quad (2.9)$$

Maka persamaan (2.7) yang merupakan persamaan untuk mencari amplitudo menjadi:

$$A_n^2 + B_n^2 = H_n^2 \quad (2.10)$$

$$H_n = \sqrt{A_n^{\,2} + B_n^{\,2}} \quad (2.11)$$

Persamaan untuk mencari fase menjadi:

$$g_n = arctg\left(\frac{B_n}{A_n}\right) \quad (2.12)$$

Keterangan:

η	:	tinggi muka air (m)
H_n	:	amplitudo konstituen ke-n (m)
S_0	:	tinggi permukaan air rata-rata (m)
ω_n	:	$2\pi/T_n$, kecepatan konstanta astronomis saat konstituen ke-n (derajat/jam)
T_n	:	perioda konstituen ke-n (jam)
g_n	:	fase komponen ke-n (derajat)
n	:	konstituen ke-n
t_i	:	waktu pengamatan ke-i (jam)

Berikut merupakan prinsip *least square* dalam format matriks:

$$[\mathrm{F}] = [A]\,[X] \tag{2.13}$$

[F] adalah matriks data ukuran (observasi), $[A]$ merupakan matriks desain, dan $[X]$ merupakan matriks parameter dengan nilai parameter komponen pasang surut.

$$[\mathrm{F}] = \begin{bmatrix} \eta(\mathrm{t}_1) \\ : \\ \eta(\mathrm{t}_i) \end{bmatrix} \tag{2.14}$$

Matriks $[A]$ dihitung dengan cara perhitungan derivatif setiap persamaan observasi terhadap A_1, A_2,…A_9 dan terhadap B_1, B_2,…B_9 atau terhadap parameter yang dicari.

$$_{i}[A]^{n} = \begin{bmatrix} 1 & \cos(\omega_1 \mathrm{t}_1) & \sin(\omega_1 \mathrm{t}_1) & \dots & \cos(\omega_n \mathrm{t}_1) & \sin(\omega_n \mathrm{t}_1) \\ : & & : & : & & : \\ 1 & \cos(\omega_1 \mathrm{t}_i) & \sin(\omega_1 t_i) & \dots & \cos(\omega_n \mathrm{t}_i) & \sin(\omega_n \mathrm{t}_i) \end{bmatrix} \tag{2.15}$$

Untuk mendapatkan Matriks $[X]$, persamaannya dituliskan pada persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$[X] = [A^{\mathrm{T}} A]^{-1} A^{\mathrm{T}} \mathrm{F} \tag{2.16}$$

2.5 Metode Doodson

Metode *filter* Doodson (X_0) digunakan untuk menghitung muka laut rata-rata dengan periode observasi pendek, yaitu 39 jam. Maksud dari pemakaian *filter* tersebut adalah untuk menghilangkan energi pasang surut pada pasang surut harian (diurnal) dan pasang surut yang mempunyai konstanta harmonik yang tinggi (Suyarso 1989 dalam K. Syahputra 2018). Metode ini mempunyai batasan waktu (t) yaitu -19 < t

> 19. Metode *filter* Doodson memiliki persamaan seperti pada persamaan 2.17 sebagai berikut:

$$X_T = \frac{1}{30}\sum_{d=-19}^{d=19} F(d)\, H(T+d), \;\; d \neq 0 \qquad (2.17)$$

Keterangan :

H(t) : Elevasi Muka Laut

F(d) : 2, 1, 1, 2, 0, 1, 1, 0, 2, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1

T : jam tengah pengamatan (jam 12 siang)

2.6 Uji Korelasi

Korelasi digunakan untuk mengukur eratnya hubungan antar variabel. Persaman 2.18 dan 2.19 adalah rumus untuk mencari koefisien korelasi yang dikemukakan oleh Pearson (Arikunto 2010 dalam Bioresita dan Taufik 2013).

$$r_{XY} = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n\sum X^2 - (\sum X)^2\}\{n\sum Y^2 - (\sum Y)^2\}}} \qquad (2.18)$$

atau

$$r_{XY} = \frac{\sum XY \;\; \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\{\sum X^2 - (\sum X)^2/n\}\{\sum Y^2 - (\sum Y)^2/n\}}} \qquad (2.19)$$

Keterangan :

r_{XY} : korelasi antar variabel

X : variabel prediksi pasut (m)

Y : variabel pengamatan (m)

n : banyak pengamatan

Besar r_{XY} berkisar antara $-1 \leq r_{XY} \leq 1$. Sedangkan arti harga r_{XY} positif dan negatif akan dikonsultasikan dengan tabel interpretasi koefisien korelasi pada Tabel 2.4 sebagai berikut (Arikunto 2010):

Tabel 2. 4 Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Interpretasi
0,81 - 1,00 (-0,81 -(-1,00))	Korelasi sangat tinggi
0,61 - 0,80 (-0,61-(-0,80))	Korelasi tinggi
0,41 - 0,60 (-0,41 -(-0,60))	Korelasi sedang
0,21 - 0,40 (-0,21 -(-0,40))	Korelasi rendah
0,00 - 0,20 (0,00 -(-0,20))	Korelasi sangat rendah

2.7 Tingkat Kesalahan

Tujuan dari menghitung tingkat kesalahan adalah untuk menghitung akurasi nilai elevasi prediksi terhadap nilai pengamatan pasut. Uji tingkat akurasi dilakukan dengan menghitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) antara data prediksi model terhadap data pengamatan (observasi) pada masing-masing stasiun. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan hasil analisis. Kelebihan dari RMSE yaitu memiliki tingkat sensitivitas yang cukup tinggi. Semakin kecil nilai RMSE yang didapatkan, menunjukkan bahwa model prediksi pasut memiliki tingkat kesalahan yang relatif kecil tingkat keakurasian yang tinggi. Perhitungan RMSE dapat dilihat pada persamaan 2.20 sebagai berikut (FEMA 2016):

$$RMS\,E = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(p_i - m_i)^2} \tag{2.20}$$

Keterangan :

RMS E : *Root Mean Square Error* (m)
m_i : elevasi pasut observasi (m)
p_i : elevasi pasut prediksi model (m)
n : jumlah pengamatan

2.8 Uji T

Uji T adalah uji parametrik yang merupakan uji beda dua rata-rata sampel. Jenis uji-t yang digunakan adalah uji T sampel bebas/berpasangan (*paired t-test*) atau uji T terpisah/tidak berpasangan (*independent sampel t-test*). Uji T berfungsi untuk menguji signifikansi beda rata-rata dua kelompok. Pada penelitian ini, taraf signifikansi yang diujikan adalah 5%. Kemudian ditentukan terlebih dahulu hipotesis sebagai berikut:

- Ho: $\mu_1 = \mu_2$, tidak ada selisih rata-rata yang signifikan antar variabel pada taraf signifikansi 5%.
- Ha: $\mu_1 \neq \mu_2$, ada selisih rata-rata yang signifikan antar variabel pada taraf signifikansi 5%.

Setelah itu dilakukan perhitungan t_{hitung} dengan persamaan 2.21 sebagai berikut (Riduwan dan Sunarto 2011):

$$t_{hitun} = \frac{\mu 1 - \mu 2}{\sqrt{\frac{S1^2}{N1} + \frac{S2^2}{N2} - 2r\left(\frac{S1}{N1}\right)\left(\frac{S2}{N2}\right)}} \qquad (2.21)$$

Keterangan :

μ_1 : rata-rata kelompok sampel prediksi (m)
μ_2 : rata-rata kelompok sampel pengamatan (m)
${S_1}^2$: varian kelompok sampel prediksi (m)
${S_2}^2$: varian kelompok sampel pengamatan (m)
S_1 : simpangan baku kelompok sampel prediksi (m)
S_2 : simpangan baku kelompok sampel pengamatan (m)
N_1 : banyaknya sampel pengukuran kelompok prediksi
N_2 : banyaknya sampel pengukuran kelompok pengamatan

Pengujian hipotesis diuji secara statistik dengan menggunakan rumus uji-t di atas, untuk menentukan nilai t statistik tabel, digunakan taraf signifikan α = 0,05 dengan derajat bebas df = (n-1). Ada dua kriteria pengujian uji t.

Pertama, jika nilai Sig: $p \leq 0{,}05$ maka ada perbedaan pada taraf signifikan 5%, sedangkan jika Sig: $p > 0{,}05$ maka tidak ada perbedaan pada taraf signifikan 5%. Kedua hasil dari t_{hitung} dibandingkan dengan t_{tabel} (α; n-1). Bila $t_{hitung} \geq t_{tabel}$ Ha diterima maka Ho ditolak, sedangkan jika $t_{hitung} < t_{table}$ Ho diterima, maka Ha ditolak.

2.9 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dilakukan oleh Faridatunnisa (2015) dengan judul "Evaluasi Ketelitian Model Pasang Surut Regional dan Global menggunakan Data Pasang Surut Terestris dan Satelit Altimetri di Wilayah Perairan Pulau Jawa". Penelitian tersebut dilakukan evaluasi terhadap ketelitian model pasang surut global dan regional untuk memperoleh model pasang surut yang sesuai dengan perairan pulau Jawa menggunakan data ukuran pasang surut dan satelit altimetri. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pengamatan pasut terestris 4 stasiun pasut di pulau Jawa dan data GDR satelit altimetri Jason 2 selama satu tahun. Data pengamatan pasang surut terestris diolah untuk memperoleh nilai konstanta harmonik pasang surut utama O_1, K_1, M_2 dan S_2. Data SLA diekstrak dari 7 lintasan data satelit altimetri yang melewati pulau Jawa. Kemudian dilakukan pengolahan dengan menentukan titik normal dan kelompok data, sedangkan dari model pasut global (FES2012 dan TPXO7-Atlas) dan regional (BIG) diekstrak nilai konstanta harmonik pasut di titik pengamatan pasut dan satelit altimetri. Evaluasi model pasut global dan regional dilakukan dengan cara (1) Membandingkan nilai amplitudo konstanta harmonik pasang surut model pasut global dan regional dengan nilai amplitudo konstanta harmonik dari data pengukuran pasang surut terestris untuk mendapatkan perbandingan ketelitian (RMS, RSS, RSSIQ, dan D) yang terbaik, (2) Digunakan dalam

koreksi data satelit altimetri sehingga meningkatkan ketelitian atau standar deviasi data satelit altimetri. Dari hasil penelitian diperoleh nilai konstanta harmonik utama pasut di perairan pulau Jawa berkisar antara 0,04 m s.d. 0,58 m untuk K_1, 0,02 m s.d. 0,28 m untuk O_1, 0 m s.d. 0,7 m pada M_2 serta 0 m s.d. 0,36 m untuk S_2. Identifikasi ketelitian model dengan menghitung nilai perbedaan ketelitian (D) diperoleh nilai dari model BIG, TPXO7-Atlas dan FES2012 masing-masing adalah 36,6972%, 76,6712% dan 28,6967%. Untuk koreksi SLA satelit altimetri, model TPXO7-Atlas tidak memberikan nilai perbandingan ketelitian (STD) yang berbeda namun model FES2012 dan BIG menghasilkan nilai standar deviasi berturut-turut 0 m s.d. 2,8 m dan 0,1 m s.d. 2,9 m. Dari kedua metode evaluasi tersebut diperoleh model FES2012 sebagai model yang paling sesuai digunakan di perairan pulau Jawa.

Penelitian terdahulu juga dilakukan oleh Marpaung (2018) dengan judul "Analisis Kesesuaian *Global Ocean Tide Model* di Perairan Indonesia". Penelitian tersebut membandingkan kesesuaian model global pasang surut air laut terhadap model global pasut FES2014, EOT11a, dan TPXO9 di Perairan Indonesia dan mereferensikan model global tersebut dengan model stasiun pasut permanen milik Badan Informasi Geospasial (BIG). Pada penelitian tersebut sembilan konstanta harmonik dihitung sebagai perbandingan masing-masing model dengan metode statistika. Metode interpolasi IDW digunakan untuk mendapatkan nilai konstanta pasang surut laut pada titik koordinat pengamatan dikarenakan nilai kontituen model pasut global yang diperoleh masih dalam bentuk *grid*. Pengolahan konstanta harmonik pasut menggunakan metode *least square.* Setiap model bereferensi terhadap data pengamatan stasiun pasut permanen BIG untuk kemudian dihitung nilai RMS, RSS, RSSIQ, dan nilai kesesuaian (D%). Kesimpulan dari penelitian ini adalah

menurut hasil perhitungan presentase nilai ketidaksesuaian merupakan penilaian secara numeris mengenai kesesuaian model jika diurutkan, model yang paling sesuai yaitu EOT11a (0,96113 %), TPXO9 (1,02608 %), lalu FES2014 (1,15013 %). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa untuk model GOT di perairan Indonesia lebih baik menggunakan pemodelan empirikal model yaitu EOT11a.

Penelitian kali ini dilakukan untuk membandingkan akurasi model pasang surut global (FES2014, TPXO9), model regional (Prediksi BIG) terhadap kondisi pasang surut eksisting di Perairan Surabaya dan sekitarnya. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis harmonik pasang surut metode *least square* untuk menghitung tinggi prediksi air laut pada model global. Setiap model bereferensi terhadap data pengamatan stasiun pasut lapangan kemudian dihitung korelasi, standar deviasi dan RMS *Error* antara dua variabel yaitu elevasi masing-masing model terhadap elevasi pasut pengamatan. Pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan datum pasang surut untuk kemudian dilakukan analisis untuk didapatkan kesimpulan.

Perbedaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah penulis tidak membandingkan elevasi pasut dari masing-masing model melainkan hanya pada konstituen harmonik. Data referensi atau data yang dianggap benar adalah data prediksi BIG sedangkan pada penelitian ini, data referensi yang dianggap benar adalah data pengamatan pasut langsung di lapangan.

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pada tugas akhir ini mengambil studi kasus di Perairan Surabaya dan sekitarnya yang perairan dekat pesisirnya memiliki kedalaman sekitar kurang lebih 2-15 meter dari permukaan laut (Candra 2013). Titik-titik pengamatan pasut tersebar di lima titik yaitu di Surabaya yang terletak di Dermaga PT Pelindo Marine Service, di Gresik yang terletak di dua tempat yaitu di Dermaga Pelabuhan Gresik dan Dermaga Pantai Dalegan, dan di Madura yang terletak di dua tempat yaitu Dermaga Pelabuhan Kamal dan Dermaga Bringsang Pulau Gili Genting yang digambarkan pada Gambar 3.1 dan letak koordinatnya dijelaskan pada Tabel 3.1.

Gambar 3.1 Lokasi Stasiun Pasut pada Penelitian

3.2 Data dan Peralatan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data Primer:
   - Data pengamatan pasut. Data ini berisi elevasi pasut dengan interval 1 jam selama 39 jam pengamatan (periode jangka pendek) dari 5 titik pengamatan pasut di Perairan Surabaya dan sekitarnya. Adapun persebaran 5 titik pengamatan pasut ditunjukkan oleh Gambar 3.1 dengan rincian pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Persebaran Lokasi Stasiun Pasut

No	Nama	Lokasi	Lintang (S)	Bujur (T)	Tanggal
1	Surabaya	Dermaga Parkiran PT Pelindo Marine Service	7°12’34,66"	112°43’32,46"	14-16 Februari 2020
2	Gresik 1	Dermaga Penumpang Pelabuhan Gresik	7°11’20,64"	112°39’57,93"	27-28 Februari 2020
3	Gresik 2	Dermaga Pantai Pasir Putih Dalegan	6°53’29,72"	112°28’4,85"	3-5 April 2019
4	Gili Genting	Dermaga Bringsang	7°10’31,20"	113°55’10,81"	26-27 April 2018
5	Bangkalan	Dermaga Pelabuhan Kamal	7°10’26,12"	112°43’39,34"	16-17 November 2017

2. Data Sekunder:
   - Data prediksi pasang surut air laut Badan Informasi Geospasial (BIG) yang diunduh pada *website* http://www.tides.big.go.id/ dengan format (*.txt)

- Data 9 konstituen harmonik pasang surut air laut model pasut global FES2014 dapat diunduh pada alamat *website* ftp://ftp-access.aviso.altimetry.fr/auxiliary/tide_model/fes2014_elevations_and_load/fes2014b_elevations/ data yang diunduh dalam format netCDF (*.nc).
- Data 9 konstituen harmonik pasang surut air laut model pasut global TPXO9 dapat diunduh pada alamat *website* http://people.oregonstate.edu/~erofeevs/tpxo9_atlas.html, data diunduh dalam format netCDF (*.nc).

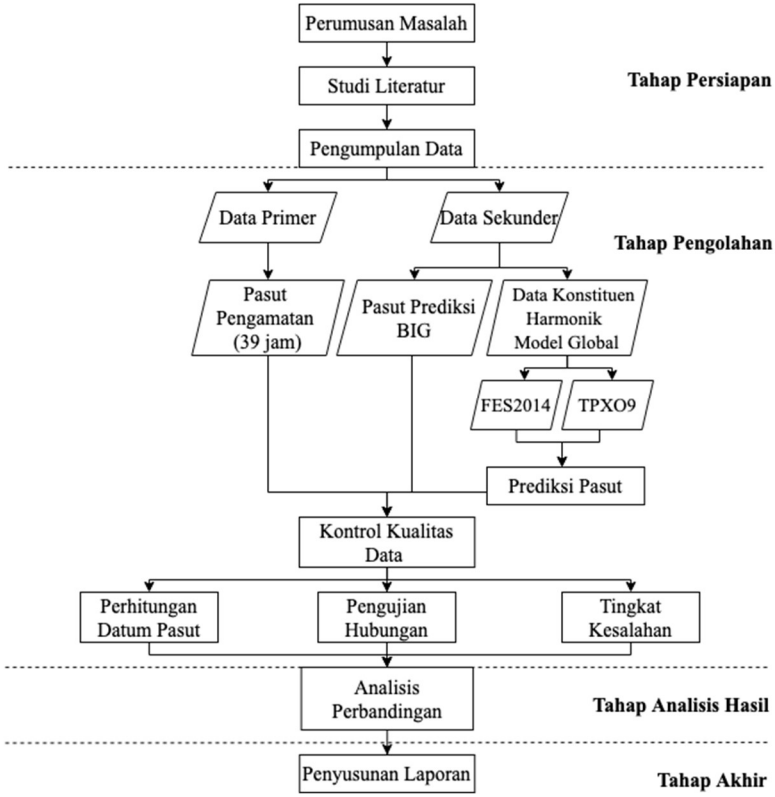
Peralatan yang digunakan dalam penelitan ini berupa perangkat lunak pengolah data, antara lain:

1. Matlab R2016b. Dalam penelitian ini *Software* Matlab berperan penting dalam pengolahan data pengamatan pasang surut di setiap stasiun pasut untuk menampilkan data pasut observasi dan prediksi dalam bentuk grafik sehingga proses analisis dapat berjalan lebih mudah.
2. ArcGIS 10.3
   ArcGIS berfungsi untuk interpolasi data konstituen harmonik model global pasut.
3. Microsoft Excel
   Microsoft berfungsi untuk mengolah format data masukan pengolahan data.

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan beberapa tahap, yaitu tahap persiapan, pengolahan data, analisis hasil, dan tahap akhir berupa pembuatan laporan. Keempat tahap tersebut dijelaskan pada Gambar 3.2, sedangkan proses pengolahan data secara lebih rinci akan dijelaskan oleh diagram alir Gambar 3.3 yaitu pada sub-bab Tahap Pengolahan Data.

3.3.1 Tahap Pelaksanaan



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahap Pelaksanaan Penelitian

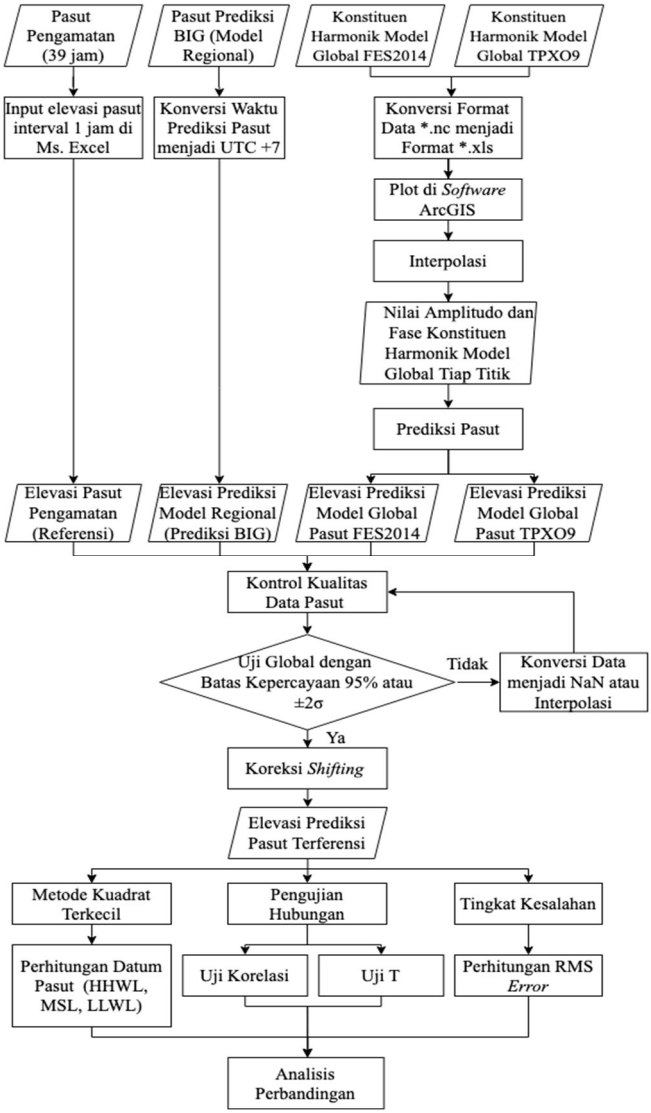
Penjelasan tahapan pelaksanaan adalah sebagai berikut :

1. Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari tahap persiapan. Tahap persiapan meliputi kegiatan perumusan masalah untuk merumuskan tujuan dari penelitian dan ditunjang dengan studi literatur untuk memahami dasar-dasar teori yang terkait dengan penelitan. Kemudian dilakukan pengumpulan data berupa data pengamatan pasang

surut selama 39 jam (periode jangka pendek), data prediksi pasang surut air laut, data konstituen harmonik model pasut global FES2014 dan TPXO9.

2. Tahap kedua yaitu pengolahan data, yang akan dijelaskan secara lebih rinci pada sub-subbab 3.3.2 Tahap Pengolahan Data.
3. Pada tahap ketiga dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan untuk mengambil beberapa kesimpulan.
4. Pada tahap akhir, keseluruhan proses dan hasil penelitian akan ditulis ke dalam bentuk laporan secara sistematis sesuai dengan aturan penulisan sebagai bentuk pertanggungjawaban dan publikasi karya ilmiah yang mudah dipahami dan dimengerti dengan baik oleh pembaca.

3.3.2 Tahap Pengolahan Data



Gambar 3.3 Diagram Alir Tahap Pengolahan

Penjelasan tahap pengolahan data, sebagai berikut :

1. Pada tahap awal pengolahan data dibagi menjadi tiga pengolahan yang berbeda, hal tersebut dikarenakan jenis format data yang berbeda. Pengolahan data meliputi pengolahan data pengamatan pasut lapangan sebagai referensi, pengolahan data pasut model regional yaitu prediksi Badan Informasi Geospasial (BIG), dan pengolahan data konstituen harmonik model pasang surut global FES2014 dan TPXO9 yang dirincikan sebagai berikut:
    i. Pengolahan data pengamatan pasut lapangan (referensi). Data pasut referensi didapatkan dari pengamatan lapangan dengan menggunakan rambu ukur. Pada pengamatan pasut lapangan diperoleh koordinat stasiun pasut dan *raw* data elevasi pasut tiap titik pengamatan selama 39 jam. *Raw* data pengamatan dimasukkan ke *software* Ms. Excel untuk memudahkan pengolahan.
    ii. Pengolahan data model regional elevasi prediksi pasut Badan Informasi Geospasial (BIG). Data prediksi pasut yang diunduh pada *website* memiliki format ASCII yang terdiri dari posisi geografis stasiun, tanggal dan waktu pengamatan, dan elevasi. Waktu dicatat dalam UTC (*Universal Time Coordinate*) dengan interval data elevasi pasut tiap 1 jam sehingga waktu perlu dikonversi ke waktu lokal dengan menambahkan tujuh

jam karena semua stasiun pasang surut pada penelitian ini adalah UTC +7 (Waktu Indonesia Barat).

iii. Pengolahan data konstituen harmonik model pasut global. Konstituen harmonik model pasut global yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini yaitu konstituen harmonik model FES2014 dan TPXO9 dengan format *file* berupa netCDF (*.nc). Nilai konstituen harmonik model pasut global berbentuk *grid* yang pada masing-masing *grid* terkandung nilai konstituen pasang surut. Namun titik-titik koordinat stasiun pasang surut referensi tidak selalu dilalui *grid*. Maka dari itu dilakukan interpolasi IDW (*Inverse Distance Weighting*) untuk mendapatkan nilai konstituen pasut pada titik koordinat pengamatan yang diolah menggunakan *software* ArcGIS. Setelah didapatkan nilai amplitudo dan fase konstituen harmonik model global pasut di tiap titik pengamatan, dilakukan prediksi elevasi pasut dengan menggunakan persamaan 2.4 yang tertera pada sub-bab 2.4 Metode Perataan Kuadrat Terkecil.

2. Setelah mendapatkan elevasi pasut pengamatan dan pasut model pada masing-masing titik pengamatan, kemudian dilakukan kontrol kualitas. Kontrol kualitas data pasut yang dilakukan meliputi pembuangan data *outlier* dan *koreksi shifting* untuk data pasut yang memiliki pola yang berbeda. Data pasut *outlier* adalah data pasut yang

memiliki nilai perekaman di luar nilai dari sebagian besar data (Yuliandany, Sabri dan Awaluddin 2020). Koreksi data pasut *outlier* pada penelitian ini dapat dilakukan dengan menggunakan uji global dengan tingkat kepercayaan 95% dengan menentukan batas ± 2σ. Kemudian melakukan pengecekan data pasut, apabila nilai elevasi pada waktu tertentu terletak antara batas ±2σ maka data tersebut memiliki kualitas baik dan dapat digunakan untuk proses analisis harmonik. Apabila nilai elevasi pada waktu tertentu terletak di luar batas ±2σ maka data tersebut dibuang dan diganti dengan *Not a Number* (NaN) atau dapat diinterpolasi.

Data pasut pengamatan dan prediksi model memiliki referensi yang berbeda sehingga data terpenggal dengan nilai ketinggian yang berbeda signifikan (*shifted*). Fenomena ini disebut dengan bias referensi. Untuk menyamakan referensi pola elevasi prediksi pasut model terhadap data pengamatan (referensi) dapat dilakukan dengan *koreksi shifting*. Koreksi *shifting* dilakukan dengan cara menyamakan rerata kelompok data yang benar dengan rerata kelompok data yang mengalami bias referensi (Faridatunnisa, Heliani dan Lestari 2018). Kemudian didapatkan elevasi pasut prediksi yang tereferensi terhadap data pengamatan.

3. Setelah didapatkan elevasi pasut prediksi yang tereferensi, kemudian menghitung tingkat kesalahan dengan menghitung nilai RMS *Error* menggunakan persamaan 2.20 yang tertera pada sub-bab 2.7 Tingkat Kesalahan.

4. Melakukan pengujian hubungan antara elevasi pasut prediksi model terhadap pengamatan dengan melakukan uji korelasi dengan persamaan yang tertera pada sub-bab 2.6 Uji Korelasi dan Uji T dengan ketentuan yang tertera pada sub-bab 2.8 Uji T.
5. Melakukan perhitungan datum pasut HHWL, MSL, dan LLWL dengan persamaan pada Tabel 2.2 yang tercantum pada sub-subbab 2.1.4 Datum Pasang Surut. Data yang digunakan adalah elevasi pasut prediksi dengan panjang data 15 hari dengan terlebih dahulu menghitung 9 konstituen harmonik pasut menggunakan metode *least square* dengan persamaan yang tertera pada sub-bab 2.4 Metode Perataan Kuadrat Terkecil.
6. Melakukan analisis hasil perbandingan masing-masing elevasi prediksi model terhadap elevasi pengamatan yang meliputi analisis *chart datum*, pengujian hubungan, dan tingkat kesalahan.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis Pengolahan Data Pengamatan Pasut

Data hasil pengamatan pasut (referensi) di masing-masing stasiun pasut yang didapatkan dengan pengamatan pasut secara langsung menggunakan rambu ukur selama 39 jam dengan interval pengamatan 1 jam. Data pengamatan pasut berupa angka yang dicatat secara manual dalam tabel pada kertas ukur. Data tersebut terlebih dahulu di *input* ke program excel agar menjadi data dengan format digital. Selanjutnya dilakukan kontrol kualitas data dengan melakukan uji global menggunakan tingkat kepercayaan 95% atau 2σ. Langkah-langkah perhitungan untuk uji global adalah sebagai berikut ((Basith dan Prakoso 2015):

1. Menghitung nilai rata-rata kemudian menghitung standar deviasi dari selisih tersebut menggunakan persamaan:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}} \quad (4.1)$$

   Keterangan:
   σ : standar deviasi (m)
   $\bar{x}\imath$: rata-rata elevasi pasut (m)
   x_i : elevasi pasut ke i (m)
   n : jumlah pengamatan
2. Menentukan batas ±2σ untuk data yang akan dikontrol kualitasnya menggunakan persamaan
   - Batas atas = ($\bar{x}$ + 2σ)
   - Batas bawah = ($\bar{x}$ − 2σ)
3. Melakukan pengecekan data pasut, apabila nilai x_i terletak antara batas ±2σ maka data tersebut memiliki

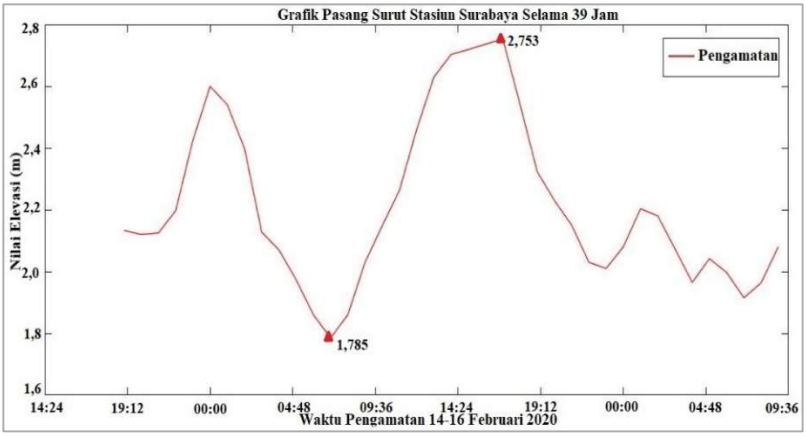
kualitas baik dan dapat digunakan untuk proses analisis harmonik. Apabila nilai x_i terletak diluar batas ±2σ maka data tersebut dibuang dan diganti dengan *Not a Number* (NaN) atau dapat diinterpolasi. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan data yang memiliki kualitas yang baik tidak melebihi batas ±2σ sehingga dapat digunakan untuk proses selanjutnya.

Proses selanjutnya adalah menghitung tunggang air pasang surut harian dengan memperhatikan puncak pasang dan surut terendah pada tanggal pengamatan. Untuk menentukan puncak pasang dan surut, data pengukuran pasang harian diplotkan ke dalam grafik pasut. Selisih elevasi antara puncak pasang dan surut terendah ditentukan sebagai tunggang pasut pada hari yang bersangkutan.

Data hasil pengukuran pasut 39 jam diolah kemudian diolah untuk mendapatkan muka laut rata-rata harian menggunakan metode *filter* Doodson dalam persamaan 2.17 pada sub-bab 2.5 Metode Doodson. Hasil dan Analisis pada masing-masing stasiun dijelaskan pada sub-subbab berikut ini:

4.1.1 Hasil dan Analisis Data Pengamatan Pasut Stasiun Surabaya

Hasil pengolahan data pengamatan pada stasiun pasut Surabaya (Dermaga Pelindo Marine Service) pada tanggal 14 Februari 2020 hingga 16 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,753 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,785 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 2,267 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,968 m.



Gambar 4. 1 Grafik Pengamatan Pasut Surabaya

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut pengamatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

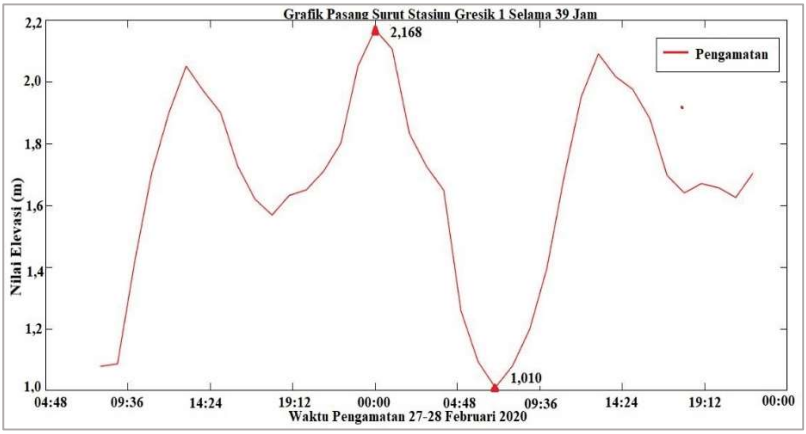
Tabel 4. 1 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Surabaya

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi terhadap Nol Rambu (m)**
2/14/2020 19:00:00	7,209	112,726	2,133
2/14/2020 20:00:00	7,209	112,726	2,120
2/14/2020 21:00:00	7,209	112,726	2,125
2/14/2020 22:00:00	7,209	112,726	2,197
2/14/2020 23:00:00	7,209	112,726	2,425
2/15/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,600
2/15/2020 1:00:00	7,209	112,726	2,540
2/15/2020 2:00:00	7,209	112,726	2,398
….	….	….	….
2/15/2020 4:00:00	7,209	112,726	2,070

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur(°)	Elevasi terhadap Nol Rambu (m)
2/15/2020 21:00:00	7,209	112,726	2,150
2/15/2020 22:00:00	7,209	112,726	2,030
2/15/2020 23:00:00	7,209	112,726	2,010
2/16/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,080
2/16/2020 1:00:00	7,209	112,726	2,203

4.1.2 Hasil dan Analisis Data Pengamatan Pasut Stasiun Gresik 1

Hasil pengolahan data pengamatan pada stasiun pasut Gresik 1 (Dermaga Pelabuhan Gresik) pada tanggal 27 Februari 2020 hingga 28 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.2, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,168 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,010 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,653 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,158 m.



Gambar 4. 2 Grafik Pengamatan Pasut Gresik 1

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut pengamatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

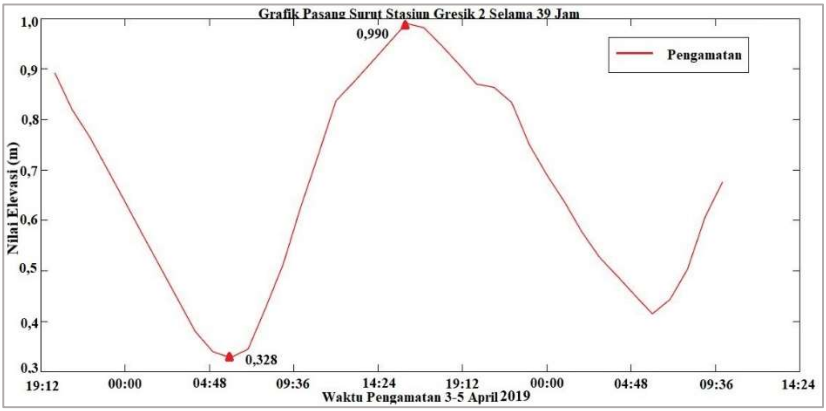
Tabel 4. 2 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Gresik 1

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi terhadap Nol Rambu (m)**
2/27/2020 8:00:00	7,156	112,663	1,079
2/27/2020 9:00:00	7,156	112,663	1,087
2/27/2020 10:00:00	7,156	112,663	1,417
2/27/2020 11:00:00	7,156	112,663	1,707
2/27/2020 12:00:00	7,156	112,663	1,900
2/27/2020 13:00:00	7,156	112,663	2,050
2/27/2020 14:00:00	7,156	112,663	1,970
….	….	….	….
2/28/2020 16:00:00	7,156	112,663	1,880
2/28/2020 17:00:00	7,156	112,663	1,697
2/28/2020 18:00:00	7,156	112,663	1,640
2/28/2020 19:00:00	7,156	112,663	1,670
2/28/2020 20:00:00	7,156	112,663	1,657
2/28/2020 21:00:00	7,156	112,663	1,625
2/28/2020 22:00:00	7,156	112,663	1,703

4.1.3 Hasil dan Analisis Data Pengamatan Pasut Stasiun Gresik 2

Hasil pengolahan data pengamatan pada stasiun pasut Gresik 2 (Dermaga Pantai Dalegan) pada tanggal 3 April 2019 hingga 5 April 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 0,990 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,328 m, *mean*

sea level (rata-rata) adalah sebesar 0,681 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,662 m.



Gambar 4. 3 Grafik Pengamatan Pasut Gresik 2

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut pengamatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

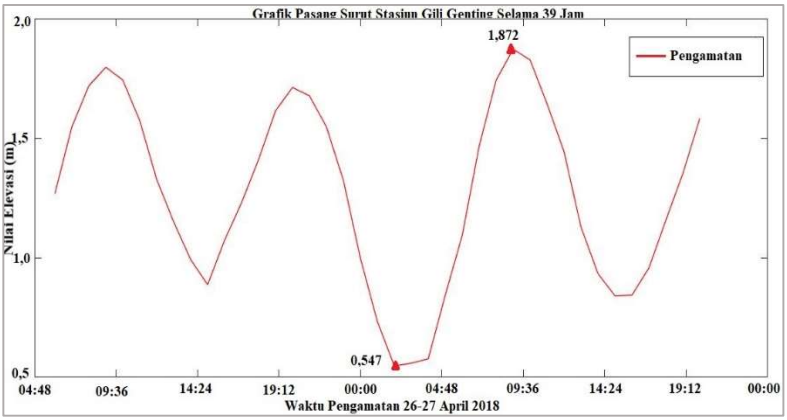
Tabel 4. 3 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Gresik 2

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi terhadap Nol Rambu (m)**
4/3/2019 20:00:00	6,892	112,468	0,893
4/3/2019 21:00:00	6,892	112,468	0,819
4/3/2019 22:00:00	6,892	112,468	0,765
4/3/2019 23:00:00	6,892	112,468	0,701
4/4/2019 0:00:00	6,892	112,468	0,637
4/4/2019 1:00:00	6,892	112,468	0,572
4/4/2019 2:00:00	6,892	112,468	0,508
….	….	….	….
4/5/2019 4:00:00	6,892	112,468	0,490
4/5/2019 5:00:00	6,892	112,468	0,452

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur(°)	Elevasi terhadap Nol Rambu (m)
4/5/2019 6:00:00	6,892	112,468	0,415
4/5/2019 7:00:00	6,892	112,468	0,443
4/5/2019 8:00:00	6,892	112,468	0,503
4/5/2019 9:00:00	6,892	112,468	0,607
4/5/2019 10:00:00	6,892	112,468	0,677

4.1.4 Hasil dan Analisis Data Pengamatan Pasut Stasiun Gili Genting

Hasil pengolahan data pengamatan pada stasiun pasut di stasiun Gili Genting (Dermaga Bringsang) pada tanggal 26 April 2018 hingga 27 April 2018, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,872 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,547 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,203 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,325 m.



Gambar 4. 4 Grafik Pengamatan Pasut Gili Genting

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut pengamatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

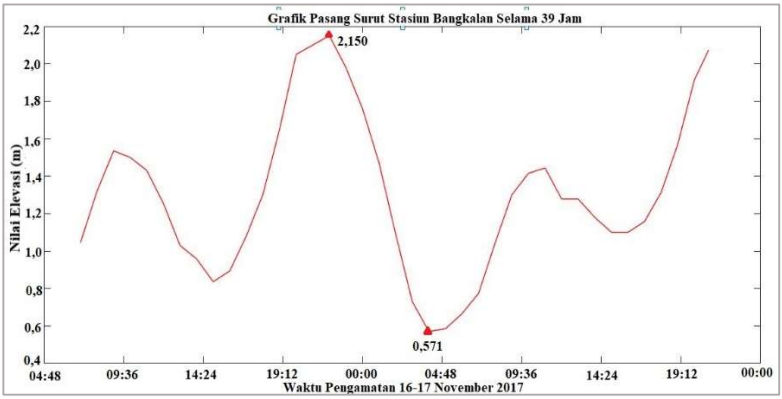
Tabel 4. 4 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Gili Genting

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi terhadap Nol Rambu (m)**
4/26/2018 6:00:00	7,175	113,920	1,267
4/26/2018 7:00:00	7,175	113,920	1,547
4/26/2018 8:00:00	7,175	113,920	1,719
4/26/2018 9:00:00	7,175	113,920	1,797
4/26/2018 10:00:00	7,175	113,920	1,743
4/26/2018 11:00:00	7,175	113,920	1,573
4/26/2018 12:00:00	7,175	113,920	1,327
….	….	….	….
4/27/2018 14:00:00	7,175	113,920	0,933
4/27/2018 15:00:00	7,175	113,920	0,840
4/27/2018 16:00:00	7,175	113,920	0,843
4/27/2018 17:00:00	7,175	113,920	0,957
4/27/2018 18:00:00	7,175	113,920	1,157
4/27/2018 19:00:00	7,175	113,920	1,352
4/27/2018 20:00:00	7,175	113,920	1,583

4.1.5 Hasil dan Analisis Data Pengamatan Pasut Stasiun Bangkalan

Hasil pengolahan data pengamatan pada stasiun pasut di stasiun Bangkalan (Pelabuhan Kamal) pada tanggal 16 November 2017 hingga 17 November 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,150 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,571 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah

sebesar 1,315 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,579 m.



Gambar 4. 5 Grafik Pengamatan Pasut Bangkalan

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut pengamatan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

Tabel 4. 5 Elevasi Pasut Pengamatan Stasiun Bangkalan

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi terhadap Nol Rambu (m)**
11/16/2017 7:00:00	7,175	112,724	1,045
11/16/2017 8:00:00	7,175	112,724	1,320
11/16/2017 9:00:00	7,175	112,724	1,535
11/16/2017 10:00:00	7,175	112,724	1,500
11/16/2017 11:00:00	7,175	112,724	1,430
11/16/2017 12:00:00	7,175	112,724	1,254
11/16/2017 13:00:00	7,175	112,724	1,030
….	….	….	….
11/17/2017 15:00:00	7,175	112,724	1,100
11/17/2017 16:00:00	7,175	112,724	1,100

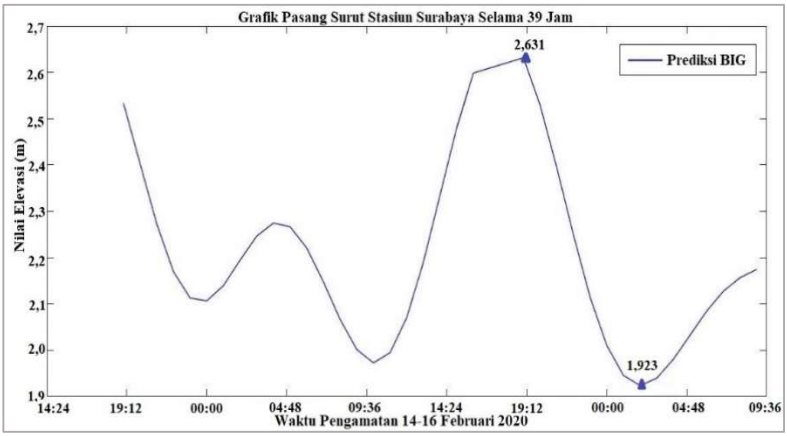
Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur(°)	Elevasi terhadap Nol Rambu (m)
11/17/2017 17:00:00	7,175	112,724	1,158
11/17/2017 18:00:00	7,175	112,724	1,313
11/17/2017 19:00:00	7,175	112,724	1,570
11/17/2017 20:00:00	7,175	112,724	1,913
11/17/2017 21:00:00	7,175	112,724	2,100

4.2 Hasil dan Analisis Pengolahan Data Prediksi Pasut Model Regional (Prediksi BIG)

Prediksi pasut yang diunduh pada dalam format ASCII terdiri dari posisi geografis stasiun, tanggal dan waktu pengamatan, dan elevasi. Waktu dicatat dalam UTC (*Universal Time Coordinate*) dengan interval data elevasi pasut tiap 1 jam. Waktu dikonversi ke waktu lokal. Semua stasiun pasang surut pada penelitian ini adalah UTC +7 (Waktu Indonesia Barat) sehingga waktu pada *raw* data prediksi tersebut perlu ditambahkan tujuh jam untuk menentukan nilai elevasi pasut pada waktu tertentu. Elevasi prediksi pasang surut dikontrol kualitas data dengan uji global 95% dan *koreksi shifting* terhadap data pengamatan untuk menyamakan referensi. Koreksi *shifting* dilakukan dengan cara menyamakan rerata kelompok data yang benar dengan rerata kelompok data yang mengalami bias referensi (Faridatunnisa, Heliani dan Lestari 2018). Koreksi *shifting* pada pengolahan data prediksi BIG dilakukan dengan menyamakan rerata kelompok data pengamatan dengan rerata kelompok data prediksi BIG. Pada sub bab berikut akan dibahas hasil pengolahan data prediksi BIG pada masing-masing stasiun pasut.

4.2.1 Hasil dan Analisis Data Prediksi BIG Stasiun Surabaya

Hasil pengolahan data prediksi BIG pada stasiun pasut Surabaya (Dermaga Pelindo Marine Service) pada tanggal 14 Februari 2020 hingga 16 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,631 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,923 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 2,230 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,708 m.



Gambar 4. 6 Grafik Pasut Prediksi BIG Surabaya

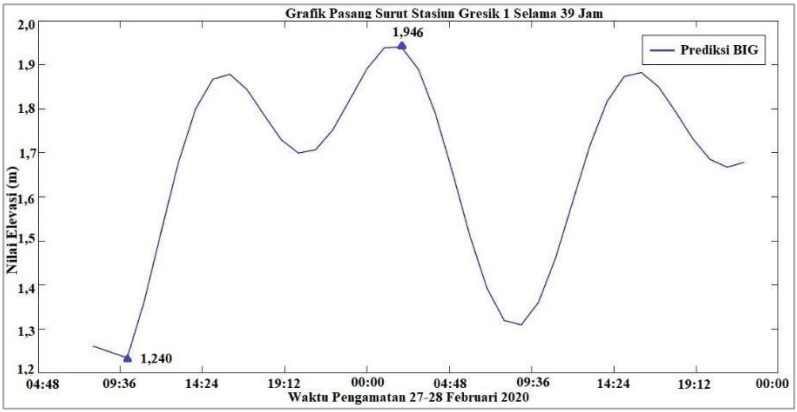
Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi BIG yang ditunjukkan pada Tabel 4.6. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

Tabel 4. 6 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Surabaya

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
2/14/2020 19:00:00	7,209	112,726	2,533
2/14/2020 20:00:00	7,209	112,726	2,402
2/14/2020 21:00:00	7,209	112,726	2,272
2/14/2020 22:00:00	7,209	112,726	2,169
2/14/2020 23:00:00	7,209	112,726	2,112
2/15/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,106
2/15/2020 1:00:00	7,209	112,726	2,139
2/15/2020 2:00:00	7,209	112,726	2,194
….	….	….	….
2/15/2020 4:00:00	7,209	112,726	2,246
2/15/2020 21:00:00	7,209	112,726	2,394
2/15/2020 22:00:00	7,209	112,726	2,249
2/15/2020 23:00:00	7,209	112,726	2,114
2/16/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,010
2/16/2020 1:00:00	7,209	112,726	1,945

4.2.2 Hasil dan Analisis Data Prediksi BIG Stasiun Gresik 1

Hasil pengolahan data prediksi BIG pada stasiun pasut Gresik 1 (Dermaga Pelabuhan Gresik) pada tanggal 27 Februari 2020 hingga 28 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.7, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,946 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,240 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,689 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,706 m.



Gambar 4. 7 Grafik Pasut Prediksi BIG Gresik 1

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi BIG yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

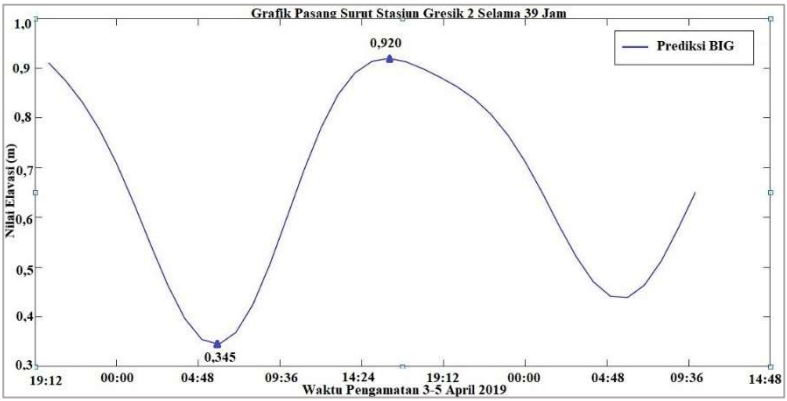
Tabel 4. 7 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Gresik 1

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
2/27/2020 8:00:00	7,156	112,663	1,261
2/27/2020 9:00:00	7,156	112,663	1,248
2/27/2020 10:00:00	7,156	112,663	1,240
2/27/2020 11:00:00	7,156	112,663	1,369
2/27/2020 12:00:00	7,156	112,663	1,529
2/27/2020 13:00:00	7,156	112,663	1,685
2/27/2020 14:00:00	7,156	112,663	1,806
….	….	….	….
2/28/2020 16:00:00	7,156	112,663	1,888
2/28/2020 17:00:00	7,156	112,663	1,856
2/28/2020 18:00:00	7,156	112,663	1,799

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur(°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
2/28/2020 19:00:00	7,156	112,663	1,738
2/28/2020 20:00:00	7,156	112,663	1,691
2/28/2020 21:00:00	7,156	112,663	1,673
2/28/2020 22:00:00	7,156	112,663	1,684

4.2.3 Hasil dan Analisis Data Prediksi BIG Stasiun Gresik 2

Hasil pengolahan data prediksi BIG pada stasiun pasut Gresik 2 (Dermaga Pantai Dalegan) pada tanggal 3 April 2019 hingga 5 April 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 0,920 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,345 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 0,675 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,575 m.



Gambar 4. 8 Grafik Pasut Prediksi BIG Gresik 2

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi BIG yang ditunjukkan pada Tabel 4.8. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

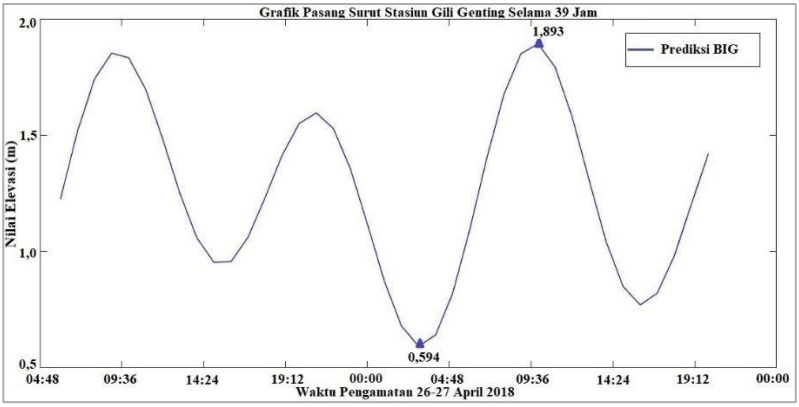
Tabel 4. 8 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Gresik 2

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
4/3/2019 20:00:00	6,892	112,468	0,911
4/3/2019 21:00:00	6,892	112,468	0,875
4/3/2019 22:00:00	6,892	112,468	0,831
4/3/2019 23:00:00	6,892	112,468	0,776
4/4/2019 0:00:00	6,892	112,468	0,708
4/4/2019 1:00:00	6,892	112,468	0,629
4/4/2019 2:00:00	6,892	112,468	0,545
….	….	….	….
4/5/2019 4:00:00	6,892	112,468	0,471
4/5/2019 5:00:00	6,892	112,468	0,442
4/5/2019 6:00:00	6,892	112,468	0,439
4/5/2019 7:00:00	6,892	112,468	0,464
4/5/2019 8:00:00	6,892	112,468	0,513
4/5/2019 9:00:00	6,892	112,468	0,579
4/5/2019 10:00:00	6,892	112,468	0,651

4.2.4 Hasil dan Analisis Data Prediksi BIG Stasiun Gili Genting

Hasil pengolahan data prediksi BIG pada stasiun pasut di stasiun Gili Genting (Dermaga Bringsang) pada tanggal 26 April 2018 hingga 27 April 2018, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah

sebesar 1,893 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,594 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,218 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,299 m.



Gambar 4. 9 Grafik Pasut Prediksi BIG Gili Genting

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi BIG yang ditunjukkan pada Tabel 4.9. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

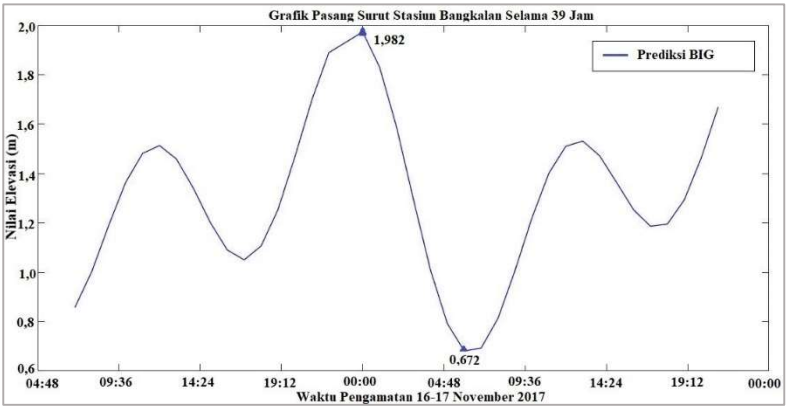
Tabel 4. 9 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Gili Genting

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
4/26/2018 6:00:00	7,175	113,920	1,226
4/26/2018 7:00:00	7,175	113,920	1,518
4/26/2018 8:00:00	7,175	113,920	1,742
4/26/2018 9:00:00	7,175	113,920	1,853
4/26/2018 10:00:00	7,175	113,920	1,833
4/26/2018 11:00:00	7,175	113,920	1,697
4/26/2018 12:00:00	7,175	113,920	1,483

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur(°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
….	….	….	….
4/27/2018 14:00:00	7,175	113,920	1,043
4/27/2018 15:00:00	7,175	113,920	0,850
4/27/2018 16:00:00	7,175	113,920	0,771
4/27/2018 17:00:00	7,175	113,920	0,822
4/27/2018 18:00:00	7,175	113,920	0,982
4/27/2018 19:00:00	7,175	113,920	1,203
4/27/2018 20:00:00	7,175	113,920	1,422

4.2.5 Hasil dan Analisis Data Prediksi BIG Stasiun Bangkalan

Hasil pengolahan data prediksi BIG pada stasiun pasut di stasiun Bangkalan (Pelabuhan Kamal) pada tanggal 16 November 2017 hingga 17 November 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,982 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,672 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,309 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,310 m.



Gambar 4. 10 Grafik Pasut Prediksi BIG Bangkalan

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi BIG yang ditunjukkan pada Tabel 4.10. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

Tabel 4. 10 Elevasi Pasut Prediksi BIG Stasiun Bangkalan

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur(°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
11/16/2017 7:00:00	7,175	112,724	0,848
11/16/2017 8:00:00	7,175	112,724	0,994
11/16/2017 9:00:00	7,175	112,724	1,181
11/16/2017 10:00:00	7,175	112,724	1,355
11/16/2017 11:00:00	7,175	112,724	1,472
11/16/2017 12:00:00	7,175	112,724	1,504
11/16/2017 13:00:00	7,175	112,724	1,449
….	….	….	….
11/17/2017 15:00:00	7,175	112,724	1,354
11/17/2017 16:00:00	7,175	112,724	1,244
11/17/2017 17:00:00	7,175	112,724	1,177

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur(°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
11/17/2017 18:00:00	7,175	112,724	1,186
11/17/2017 19:00:00	7,175	112,724	1,284
11/17/2017 20:00:00	7,175	112,724	1,454
11/17/2017 21:00:00	7,175	112,724	1,660

4.3 Hasil dan Analisis Pengolahan Model Global Pasut FES2014 dan TPXO9

Model global pasang surut FES2014 dan TPXO9 yang digunakan merupakan data konstituen harmonik. Ada 9 konstituen harmonik yang digunakan yaitu M_2, S_2, K_1, O_1, Q_1, N_2, K_2, P_1 dan M_4. Masing-masing konstituen harmonik terdiri dari nilai amplitudo dan fase. Pengolahan model global pasut terdiri dari perhitungan interpolasi pasut untuk mendapatkan nilai amplitudo dan fase tiap konstituen dan perhitungan prediksi pasang surut yang akan dijelaskan pada sub-bab berikut ini:

4.3.1 Hasil dan Analisis Interpolasi Model Global Pasut FES2014 dan TPXO9

Nilai fase dan ampitudo dari 9 kostituen harmonik pasang surut air laut model global merupakan hasil interpolasi menggunakan *tools* IDW (*Invers Distance Weight*) di *software* ArcGIS yang diolah dari nilai yang sudah tersedia dalam bentuk *grid*, sehingga menghasilkan nilai amplitudo dan fase model global FES2014 dan TPXO9 di masing-masing stasiun pasut yang ditunjukkan pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15.

Tabel 4. 11 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Surabaya

Konstituen	Stasiun Surabaya			
	FES2014		TPXO9	
	Amplitudo (cm)	Fase (°)	Amplitudo (cm)	Fase (°)
M_2	18,901	68,077	14,937	2,678
S_2	11,176	72,932	10,057	2,678
K_1	25,617	-88,162	3,094	2,678
O_1	14,285	91,189	7,498	19,663
Q_1	2,648	85,595	1,547	2,678
N_2	4,073	61,368	3,481	2,678
K_2	2,546	60,748	3,094	2,678
P_1	7,673	-88,879	3,690	2,678
M_4	18,901	29,961	0,298	2,678

Tabel 4. 12 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Gresik 1

Konstituen	Stasiun Gresik 1			
	FES2014		TPXO9	
	Amplitudo (cm)	Fase (°)	Amplitudo (cm)	Fase (°)
M_2	35,989	66,930	26,478	3,233
S_2	16,863	77,119	16,879	3,233
K_1	37,800	-85,144	5,331	3,233
O_1	23,119	90,424	34,084	0,410
Q_1	4,682	83,450	6,669	3,233
N_2	7,971	64,873	3,776	3,233
K_2	4,018	62,522	5,331	3,233

	Stasiun Gresik 1			
	FES2014		TPXO9	
	Amplitudo (cm)	Fase (°)	Amplitudo (cm)	Fase (°)
P_1	11,359	-86,048	18,157	3,233
M_4	35,989	23,721	0,241	9,699

Tabel 4. 13 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Gresik 2

Konstituen	Stasiun Gresik 2			
	FES2014		TPXO9	
	Amplitudo (cm)	Fase (°)	Amplitudo (cm)	Fase (°)
M_2	1,855	-49,326	0,969	32,658
S_2	3,315	93,445	5,080	10,886
K_1	30,292	-86,609	1,814	10,886
O_1	14,874	97,716	27,748	13,656
Q_1	2,207	85,476	4,233	10,886
N_2	0,989	-76,262	1,164	10,886
K_2	0,921	77,799	1,814	10,886
P_1	8,918	-87,535	14,634	10,886
M_4	1,855	6,002	0,000	0,000

Tabel 4. 14 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Gili Genting

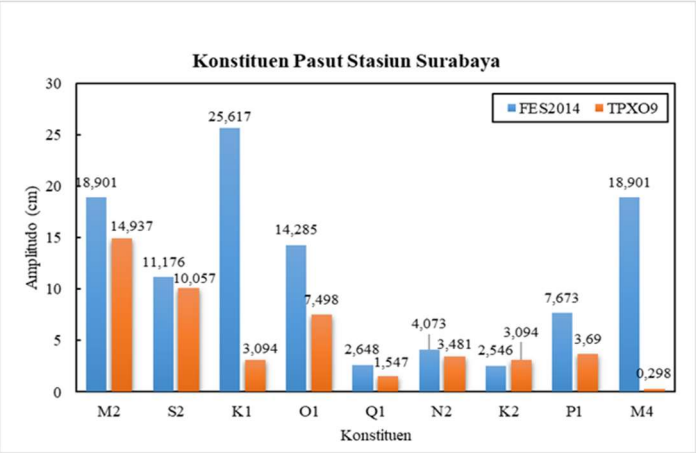
Konstituen	Stasiun Gili Genting			
	FES2014		TPXO9	
	Amplitudo (cm)	Fase (°)	Amplitudo (cm)	Fase (°)
M_2	1,855	106,152	0,969	13,875
S_2	3,315	111,779	5,080	13,875
K_1	30,292	-163,312	1,814	13,875
O_1	14,874	155,208	27,748	88,290
Q_1	2,207	149,947	4,233	13,875
N_2	0,989	91,954	1,164	13,875
K_2	0,921	104,839	1,814	13,875
P_1	8,918	-163,435	14,634	13,875
M_4	1,855	-131,124	0,000	13,875

Tabel 4. 15 Nilai Amplitudo dan Fase FES2014 dan TPXO9 Stasiun Bangkalan

Konstituen	Stasiun Bangkalan			
	FES2014		TPXO9	
	Amplitudo (cm)	Fase (°)	Amplitudo (cm)	Fase (°)
M_2	24,569	90,717	13,550	2,429
S_2	14,667	97,188	9,123	2,429
K_1	34,151	-117,103	2,807	2,429
O_1	19,019	121,473	6,802	17,164
Q_1	3,511	113,885	1,404	2,429
N_2	5,286	81,871	3,158	2,429
K_2	3,342	80,838	2,807	2,429

	Stasiun Bangkalan			
	FES2014		TPXO9	
	Amplitudo (cm)	Fase (°)	Amplitudo (cm)	Fase (°)
P_1	10,223	-118,079	3,347	2,429
M_4	24,569	58,943	0,270	2,429

Nilai amplitudo hasil interpolasi konstituen model global FES2014 dan TPXO9 pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15, secara grafik ditunjukkan pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13, Gambar 4.14, dan Gambar 4.15.

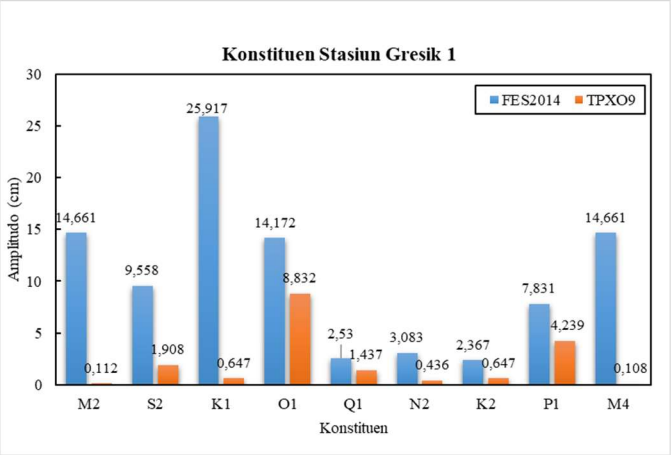


Gambar 4. 11 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Surabaya

Pada Gambar 4.11, menunjukkan bahwa nilai amplitudo terbesar pada model FES2014 adalah konstituen K_1 dengan nilai 25,617 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstituen K_2 dengan nilai 3,094 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model FES2014, konstituen yang memiliki pengaruh

terbesar terhadap pasang surut di stasiun Surabaya adalah konstituen K_1. K_1 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh deklinasi sistem bulan dan matahari. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen K_2. Konstituen K_2 dipengaruhi oleh perubahan jarak bumi dengan matahari akibat lintasan elips.

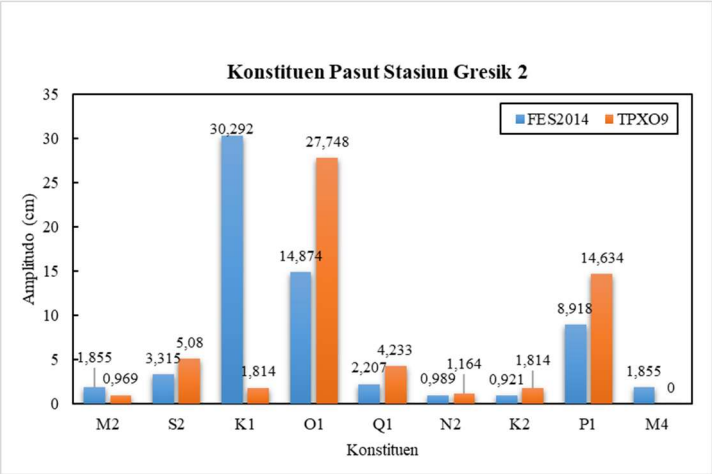
Pada model TPXO9, nilai amplitudo terbesar pada model TPXO9 adalah konstituen M_2 dengan nilai 14,937 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstituen M_4 dengan nilai 0,298 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model TPXO9 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Surabaya adalah konstituen M_2. M_2 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen M_4. Konstituen M_4 sangat dipengaruhi oleh dua kali kecepatan sudut M_2 akibat pengaruh bulan di perairan dangkal.



Gambar 4. 12 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Gresik 1

Pada Gambar 4.12, menunjukkan bahwa nilai amplitudo terbesar pada model FES2014 adalah konstituen K_1 dengan nilai 25,917 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstituen K_2 dengan nilai 2,367 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model FES2014 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Gresik 1 adalah konstituen K_1. K_1 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh deklinasi sistem bulan dan matahari. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen K_2. Konstituen K_2 sangat dipengaruhi oleh perubahan jarak bumi dengan matahari akibat lintasan elips.

Pada model TPXO9, nilai amplitudo terbesar pada model TPXO9 adalah konstituen O_1 dengan nilai 8,832 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstituen M_4 dengan nilai 0,108 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model TPXO9 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Gresik 1 adalah konstituen O_1. O_1 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh deklinasi bulan. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen M_4. Konstituen M_4 sangat dipengaruhi oleh dua kali kecepatan sudut M_2 akibat pengaruh bulan di perairan dangkal.

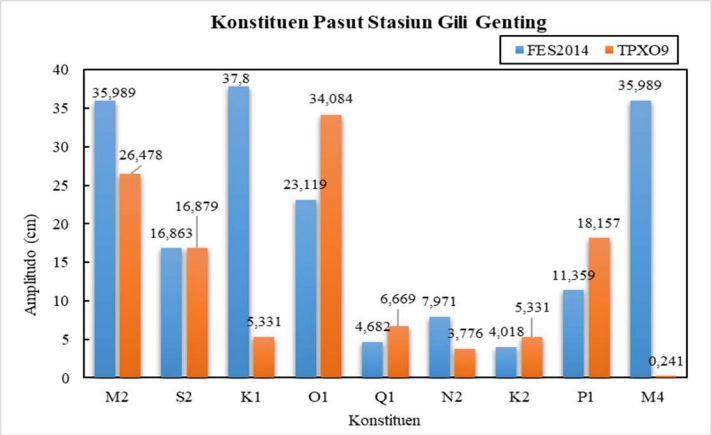


Gambar 4. 13 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Gresik 2

Pada Gambar 4.13, menunjukkan bahwa nilai amplitudo terbesar pada model FES2014 adalah konstituen K_1 dengan nilai 30,292 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstituen K_2 dengan nilai 0,921 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model FES2014 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Gresik 2 adalah konstituen K_1. K_1 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh deklinasi sistem bulan dan matahari. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen K_2. Konstituen K_2 dipengaruhi oleh perubahan jarak bumi dengan matahari akibat lintasan elips.

Pada model TPXO9, nilai amplitudo terbesar pada model TPXO9 adalah konstituen O_1 dengan nilai 27,748 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstituen M_4 dengan nilai 0,000 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model TPXO9 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Gresik 2 adalah konstituen O_1. O_1 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh deklinasi

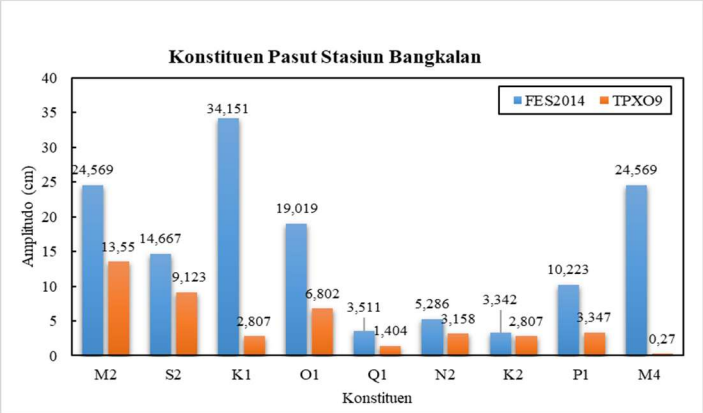
bulan. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil atau juga bisa disebut tidak memiliki pengaruh adalah konstituen M_4. Konstituen M_4 sangat dipengaruhi oleh dua kali kecepatan sudut M_2 akibat pengaruh bulan di perairan dangkal.



Gambar 4. 14 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Gili Genting

Pada Gambar 4.14, menunjukkan bahwa nilai amplitudo terbesar pada model FES2014 adalah konstituen K_1 dengan nilai 37,800 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstiuen K_2 dengan nilai 4,018 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model FES2014 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Gili Genting adalah konstituen K_1. K_1 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh deklinasi sistem bulan dan matahari. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen K_2. Konstituen K_2 dipengaruhi oleh perubahan jarak bumi dengan matahari akibat lintasan elips.

Pada model TPXO9, nilai amplitudo terbesar pada model TPXO9 adalah konstituen M_2 dengan nilai 26,478 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstiuen M_4 dengan nilai 0,241 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model TPXO9 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Gili Genting adalah konstituen M_2. M_2 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen M_4. Konstituen M_4 sangat dipengaruhi oleh dua kali kecepatan sudut M_2 akibat pengaruh bulan di perairan dangkal.



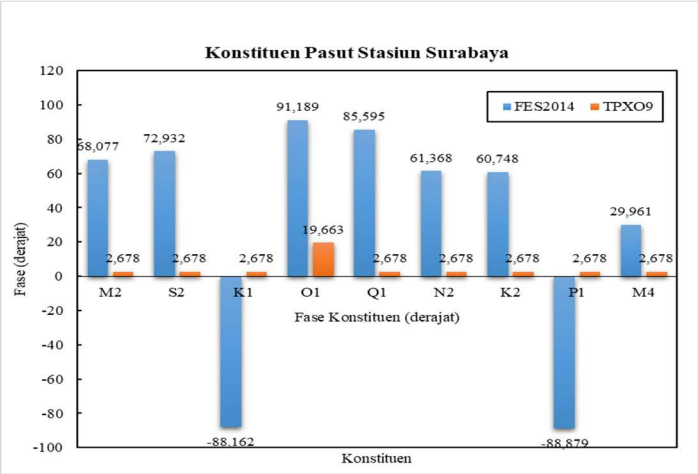
Gambar 4. 15 Nilai Amplitudo Interpolasi Stasiun Bangkalan

Pada Gambar 4.15, menunjukkan bahwa nilai amplitudo terbesar pada model FES2014 adalah konstituen K_1 dengan nilai 34,151 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstiuen K_2 dengan nilai 3,342 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model FES2014 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Bangkalan adalah konstituen K_1. K_1 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh deklinasi sistem bulan dan matahari.

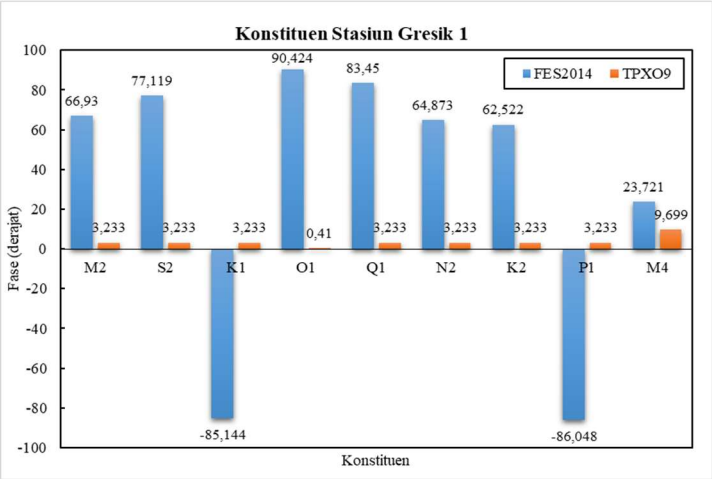
Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen K_2. Konstituen K_2 dipengaruhi oleh perubahan jarak bumi dengan matahari akibat lintasan elips.

Pada model TPXO9, nilai amplitudo terbesar pada model TPXO9 adalah konstituen M_2 dengan nilai 13,550 cm dan nilai amplitudo terkecil adalah konstiuen M_4 dengan nilai 0,270 cm. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada model TPXO9 konstituen yang memiliki pengaruh terbesar terhadap pasang surut di stasiun Bangkalan adalah konstituen M_2. M_2 merupakan konstituen pasut yang sangat dipengaruhi oleh gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar. Sedangkan konstituen yang memiliki pengaruh terkecil adalah konstituen M_4. Konstituen M_4 sangat dipengaruhi oleh dua kali kecepatan sudut M_2 akibat pengaruh bulan di perairan dangkal.

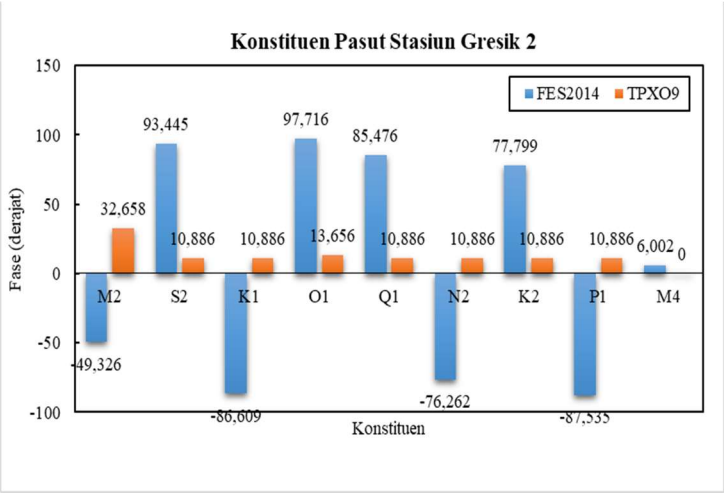
Nilai fase hasil interpolasi konstituen model global FES2014 dan TPXO9 pada Tabel 4.11, Tabel 4.12, Tabel 4.13, Tabel 4.14, dan Tabel 4.15, secara grafik ditunjukkan pada Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18, Gambar 4.19, dan Gambar 4.20.



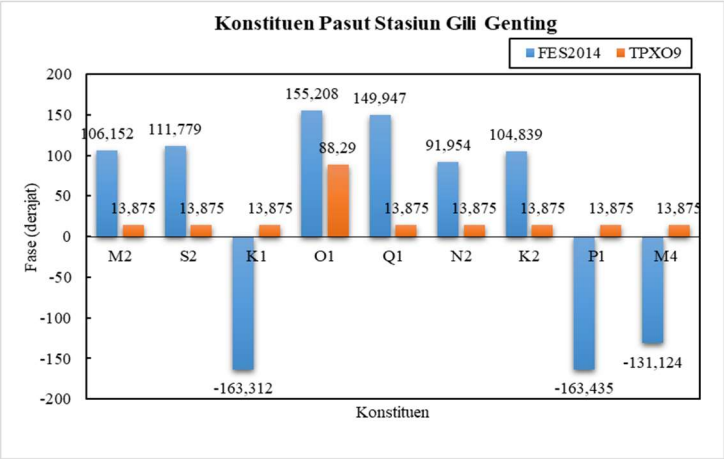
Gambar 4. 16 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Surabaya



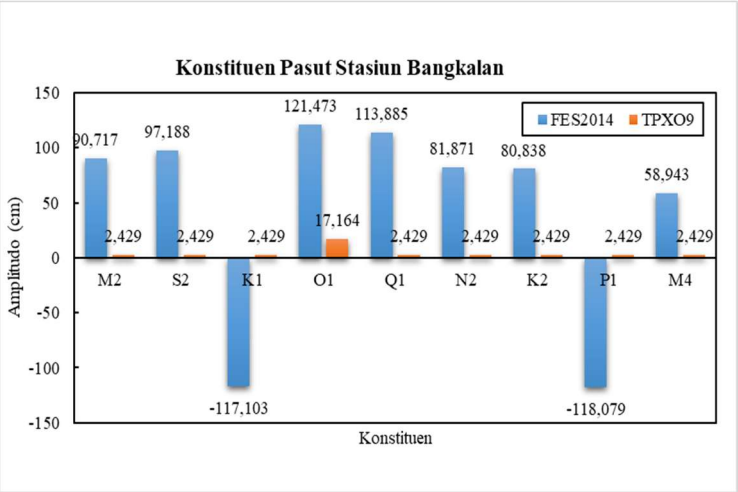
Gambar 4. 17 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Gresik 1



Gambar 4. 18 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Gresik 2



Gambar 4. 19 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Gili Genting



Gambar 4. 20 Nilai Fase Interpolasi Stasiun Bangkalan

Pada Gambar 4.16, Gambar 4.17, Gambar 4.18, Gambar 4.19, dan Gambar 4.20, menunjukkan perbandingan nilai fase konstituen-konstituen pasang surut antara model global pasut FES2014 dan TPXO9 memiliki selisih nilai yang relatif besar. Hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa hal, antara lain yaitu:

1. Kondisi perairan dikarenakan kondisi geografis dan topografis perairan. Lokasi geografis dan topografis Perairan Surabaya dan Sekitarnya pada penelitian ini adalah bagian dari Selat Madura. Penjalaran pasut dari laut bebas menuju stasiun terhalang oleh bentuk selat. Tipe perairan Selat Madura setengah tertutup (*semi-enclosed sea*), pada bagian timur dan barat laut perairan Selat Madura mempunyai tipe terbuka (Sugianto 2009). Pada saat pasang air tinggi tidak secara langsung di stasiun pasut mengalami pasang air tinggi, pada saat surut di stasiun pasut mengalami surut secara perlahan-

lahan dikarenakan debit air yang di stasiun pasut masih menyimpan air laut sehingga terjadi keterlambatan fase (P, Runiawan, dkk. 2015).

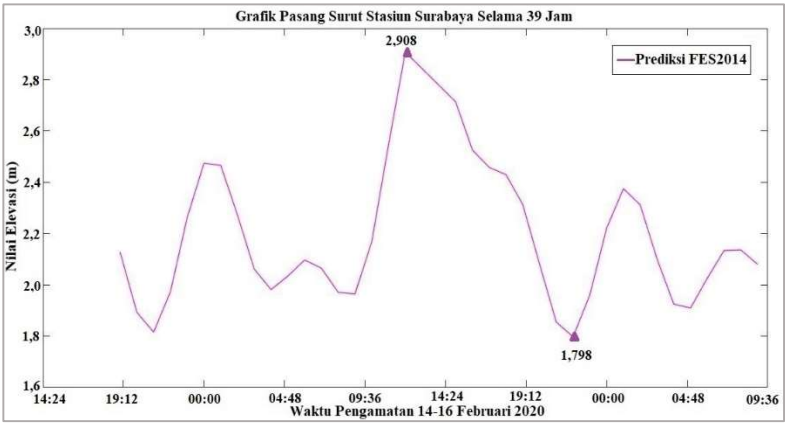
2. Frekuensi aliasing yang digunakan dalam analisis harmonik. Satelit altimetri memiliki interval pencuplikan data yang lama di satu tempat (*revisit time*), berbeda dengan pengamatan pasang surut konvensional yang menghasilkan data sesuai dengan keinginan. Hal ini akan mengakibatkan fenomena aliasing frekuensi komponen utama pasang surut (Safi'i, dkk. 2018). Dikarenakan model global FES2014 dan TPXO9 merupakan model hidrodinamik dan barotropik yang dibatasi menggunakan pengamatan empiris (*tide gauges*) melalui pendekatan asimilasi yang berbeda (Seifi, dkk. 2019), dengan lama data pengamatan adalah 20 tahun *long altimeter time series* dan *tide gauges* dengan data altimeter yang berbeda. Pada model FES2014 data altimeter yang digunakan adalah data *multi-mission* satelit altimetri Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, ENVISAT, ERS 1,ERS 2, TPN-J1N (Lyard, dkk. 2006). Pada model TPXO9 data altimeter yang digunakan adalah data *multi-mission* satelit altimetri Topex/Poseidon, Jason 1, Jason 2, ENVISAT, ERS 2 (Egbert, dkk. 2010). Perbedaan fase dari kedua model pasut global tersebut dapat juga disebabkan oleh frekuensi aliasing yang digunakan dalam analisis harmonik. Namun perbedaan frekuensi tersebut ini tidak terlalu merubah amplitudo konstituen pasut (Gumelar, dkk. 2016).

4.3.2 Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global FES2014

Nilai amplitudo dan fase konstituen model global pasut FES2014 hasil interpolasi dilakukan prediksi elevasi pasut di setiap stasiun menggunakan persamaan pada sub bab 2.4 Metode Perataan Kuadrat Terkecil untuk mendapatkan elevasi pasut 39 jam dengan interval 1 jam. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan elevasi pasut prediksi dari nilai amplitudo dan fase konstituen pasut model global FES2014. Elevasi prediksi pasang surut dikontrol kualitas data dengan uji global 95% dan *koreksi shifting* terhadap data pengamatan untuk menyamakan referensi. Koreksi *shifting* pada pengolahan data prediksi FES2014 dilakukan dengan menyamakan rerata kelompok data pengamatan dengan rerata kelompok data prediksi FES2014. Berikut akan dibahas hasil pengolahan data prediksi FES2014 pada masing-masing stasiun pasut:

1. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global FES2014 Stasiun Surabaya

Hasil pengolahan data prediksi FES2014 pada stasiun pasut Surabaya (Dermaga Pelindo Marine Service) pada tanggal 14 Februari 2020 hingga 16 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.21, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,908 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,798 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 2,265 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,110 m.



Gambar 4. 21 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Surabaya

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi FES2014 yang ditunjukkan pada Tabel 4.16. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

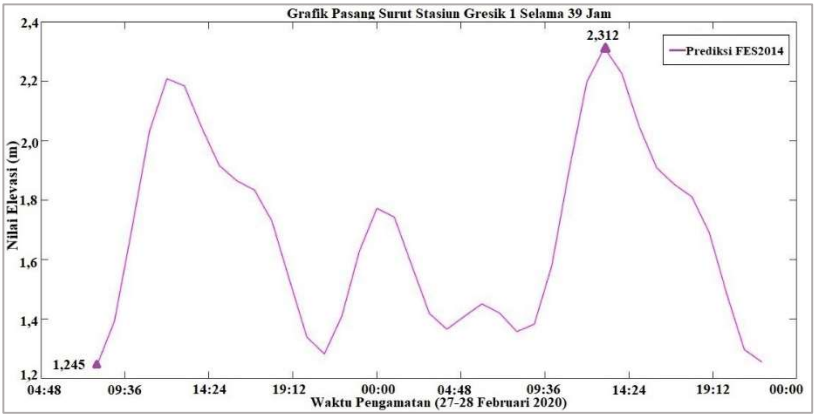
Tabel 4. 16 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Surabaya

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
2/14/2020 19:00:00	7,209	112,726	2,128
2/14/2020 20:00:00	7,209	112,726	1,893
2/14/2020 21:00:00	7,209	112,726	1,816
2/14/2020 22:00:00	7,209	112,726	1,973
2/14/2020 23:00:00	7,209	112,726	2,262
2/15/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,474
2/15/2020 1:00:00	7,209	112,726	2,466
2/15/2020 2:00:00	7,209	112,726	2,271
….	….	….	….

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
2/15/2020 4:00:00	7,209	112,726	1,982
2/15/2020 21:00:00	7,209	112,726	1,855
2/15/2020 22:00:00	7,209	112,726	1,798
2/15/2020 23:00:00	7,209	112,726	1,961
2/16/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,221
2/16/2020 1:00:00	7,209	112,726	2,375

2. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global FES2014 Stasiun Gresik 1

Hasil pengolahan data prediksi FES2014 pada stasiun pasut Gresik 1 (Dermaga Pelabuhan Gresik) pada tanggal 27 Februari 2020 hingga 28 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.22, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,312 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,245 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,650 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,067 m.



Gambar 4. 22 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Gresik 1

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi FES2014 yang ditunjukkan pada Tabel 4.17. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

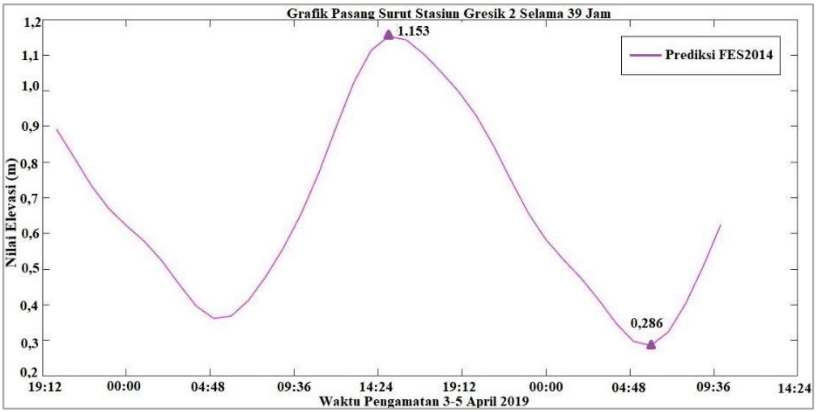
Tabel 4. 17 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Gresik 1

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
2/27/2020 8:00:00	7,156	112,663	1,245
2/27/2020 9:00:00	7,156	112,663	1,393
2/27/2020 10:00:00	7,156	112,663	1,704
2/27/2020 11:00:00	7,156	112,663	2,030
2/27/2020 12:00:00	7,156	112,663	2,208
2/27/2020 13:00:00	7,156	112,663	2,184
2/27/2020 14:00:00	7,156	112,663	2,042
….	….	….	….
2/28/2020 16:00:00	7,156	112,663	1,908

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
2/28/2020 17:00:00	7,156	112,663	1,853
2/28/2020 18:00:00	7,156	112,663	1,811
2/28/2020 19:00:00	7,156	112,663	1,690
2/28/2020 20:00:00	7,156	112,663	1,484
2/28/2020 21:00:00	7,156	112,663	1,298
2/28/2020 22:00:00	7,156	112,663	1,256

3. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global FES2014 Stasiun Gresik 1

Hasil pengolahan data prediksi FES2014 pada stasiun pasut Gresik 2 (Dermaga Pantai Dalegan) pada tanggal 3 April 2019 hingga 5 April 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.23, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,153 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,286 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 0,713 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,867 m.



Gambar 4. 23 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Gresik 2

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi FES2014 yang ditunjukkan pada Tabel 4.18. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

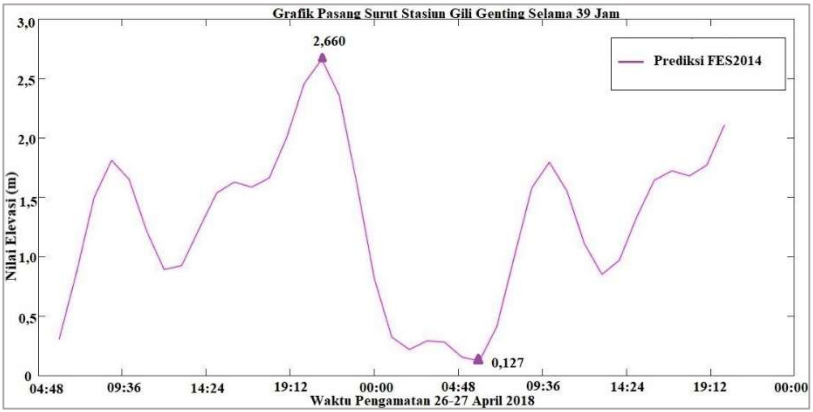
Tabel 4. 18 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Gresik 2

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
4/3/2019 20:00:00	6,892	112,468	0,893
4/3/2019 21:00:00	6,892	112,468	0,814
4/3/2019 22:00:00	6,892	112,468	0,734
4/3/2019 23:00:00	6,892	112,468	0,670
4/4/2019 0:00:00	6,892	112,468	0,622
4/4/2019 1:00:00	6,892	112,468	0,579
4/4/2019 2:00:00	6,892	112,468	0,525
….	….	….	….
4/5/2019 4:00:00	6,892	112,468	0,349

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
4/5/2019 5:00:00	6,892	112,468	0,298
4/5/2019 6:00:00	6,892	112,468	0,286
4/5/2019 7:00:00	6,892	112,468	0,324
4/5/2019 8:00:00	6,892	112,468	0,404
4/5/2019 9:00:00	6,892	112,468	0,509
4/5/2019 10:00:00	6,892	112,468	0,625

4. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global FES2014 Stasiun Gili Genting

Hasil pengolahan data prediksi FES2014 pada stasiun pasut di stasiun Gili Genting (Dermaga Bringsang) pada tanggal 26 April 2018 hingga 27 April 2018, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.24, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,660 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,127 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,184 m, dan rentang pasut adalah sebesar 2,534 m.



Gambar 4. 24 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Gili Genting

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi FES2014 yang ditunjukkan pada Tabel 4.19. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

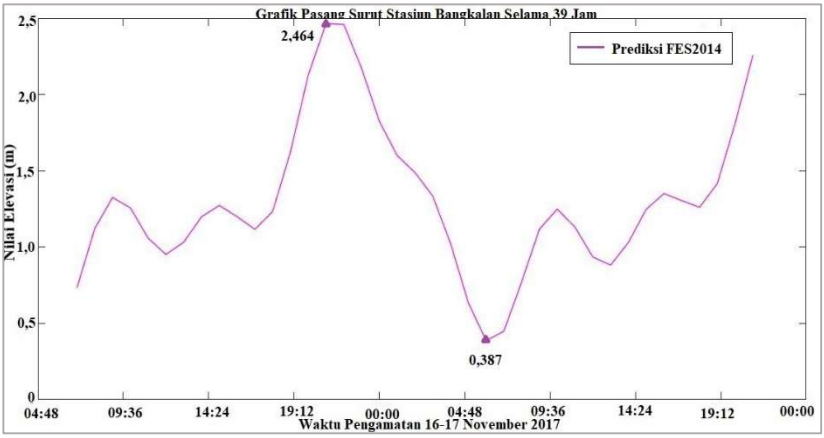
Tabel 4. 19 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Gili Genting

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
4/26/2018 6:00:00	7,175	113,920	0,307
4/26/2018 7:00:00	7,175	113,920	0,872
4/26/2018 8:00:00	7,175	113,920	1,499
4/26/2018 9:00:00	7,175	113,920	1,812
4/26/2018 10:00:00	7,175	113,920	1,652
4/26/2018 11:00:00	7,175	113,920	1,218
4/26/2018 12:00:00	7,175	113,920	0,895
….	….	….	….
4/27/2018 14:00:00	7,175	113,920	0,973

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
4/27/2018 15:00:00	7,175	113,920	1,338
4/27/2018 16:00:00	7,175	113,920	1,646
4/27/2018 17:00:00	7,175	113,920	1,723
4/27/2018 18:00:00	7,175	113,920	1,681
4/27/2018 19:00:00	7,175	113,920	1,773
4/27/2018 20:00:00	7,175	113,920	2,109

5. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global FES2014 Stasiun Bangkalan

Hasil pengolahan data prediksi FES2014 pada stasiun pasut di stasiun Bangkalan (Pelabuhan Kamal) pada tanggal 16 November 2017 hingga 17 November 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.25, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,464 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,387 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,297 m, dan rentang pasut adalah sebesar 2,077 m.



Gambar 4. 25 Grafik Prediksi Pasut FES2014 Bangkalan

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi FES2014 yang ditunjukkan pada Tabel 4.20. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

Tabel 4. 20 Elevasi Pasut Prediksi FES2014 Stasiun Bangkalan

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
11/16/2017 7:00:00	7,175	112,724	1,078
11/16/2017 8:00:00	7,175	112,724	1,129
11/16/2017 9:00:00	7,175	112,724	1,228
11/16/2017 10:00:00	7,175	112,724	1,344
11/16/2017 11:00:00	7,175	112,724	1,441
11/16/2017 12:00:00	7,175	112,724	1,489
11/16/2017 13:00:00	7,175	112,724	1,472
….	….	….	….
11/17/2017 15:00:00	7,175	112,724	1,338

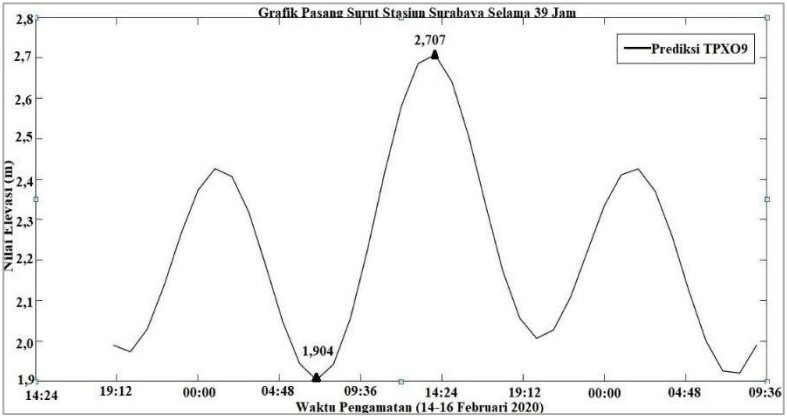
Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
11/17/2017 16:00:00	7,175	112,724	1,215
11/17/2017 17:00:00	7,175	112,724	1,105
11/17/2017 18:00:00	7,175	112,724	1,038
11/17/2017 19:00:00	7,175	112,724	1,035
11/17/2017 20:00:00	7,175	112,724	1,099
11/17/2017 21:00:00	7,175	112,724	1,218

4.3.3 Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global TPXO9

Nilai amplitudo dan fase konstituen model global pasut TPXO9 hasil interpolasi dilakukan prediksi elevasi pasut di setiap stasiun menggunakan persamaan pada sub bab 2.4 tentang Metode Perataan Kuadrat Terkecil untuk mendapatkan elevasi pasut 39 jam dengan interval 1 jam. Proses ini bertujuan untuk mendapatkan elevasi pasut prediksi dari nilai amplitudo dan fase konstituen pasut model global TPXO9. Elevasi prediksi pasang surut dikontrol kualitas data dengan uji global 95% dan *koreksi shifting* terhadap data pengamatan untuk menyamakan referensi. Koreksi *shifting* pada pengolahan data prediksi TPXO9 dilakukan dengan menyamakan rerata kelompok data pengamatan dengan rerata kelompok data prediksi TPXO9. Pada sub bab berikut akan dibahas hasil pengolahan data prediksi TPXO9 pada masing-masing stasiun pasut.

1. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global TPXO9 Stasiun Surabaya

Hasil pengolahan data prediksi TPXO9 pada stasiun pasut Surabaya (Dermaga Pelindo Marine Service) pada tanggal 14 Februari 2020 hingga 16 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.26, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 2,707 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,904 m, mean sea level (rata-rata) adalah sebesar 2,262 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,804 m.



Gambar 4. 26 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Surabaya

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi TPXO9 yang ditunjukkan pada Tabel 4.21. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

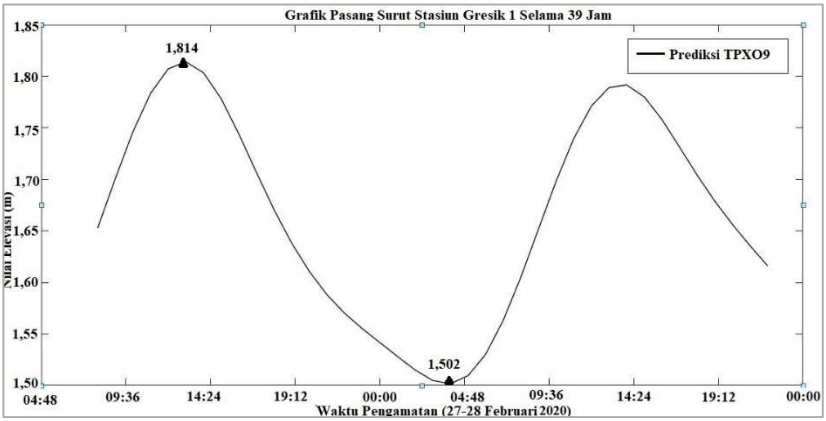
Tabel 4. 21 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Surabaya

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
2/14/2020 19:00:00	7,209	112,726	1,990
2/14/2020 20:00:00	7,209	112,726	1,973
2/14/2020 21:00:00	7,209	112,726	2,029
2/14/2020 22:00:00	7,209	112,726	2,138
2/14/2020 23:00:00	7,209	112,726	2,266
2/15/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,373
2/15/2020 1:00:00	7,209	112,726	2,426
2/15/2020 2:00:00	7,209	112,726	2,406
….	….	….	….
2/15/2020 4:00:00	7,209	112,726	2,186
2/15/2020 21:00:00	7,209	112,726	2,028
2/15/2020 22:00:00	7,209	112,726	2,108
2/15/2020 23:00:00	7,209	112,726	2,222
2/16/2020 0:00:00	7,209	112,726	2,334
2/16/2020 1:00:00	7,209	112,726	2,411

2. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global TPXO9 Stasiun Gresik 1

Hasil pengolahan data prediksi TPXO9 pada stasiun pasut Gresik 1 (Dermaga Pelabuhan Gresik) pada tanggal 27 Februari 2020 hingga 28 Februari 2020, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.27, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,814 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,502 m, *mean sea level*

(rata-rata) adalah sebesar 1,642 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,312 m.



Gambar 4. 27 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Gresik 1

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi TPXO9 yang ditunjukkan pada Tabel 4.22. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

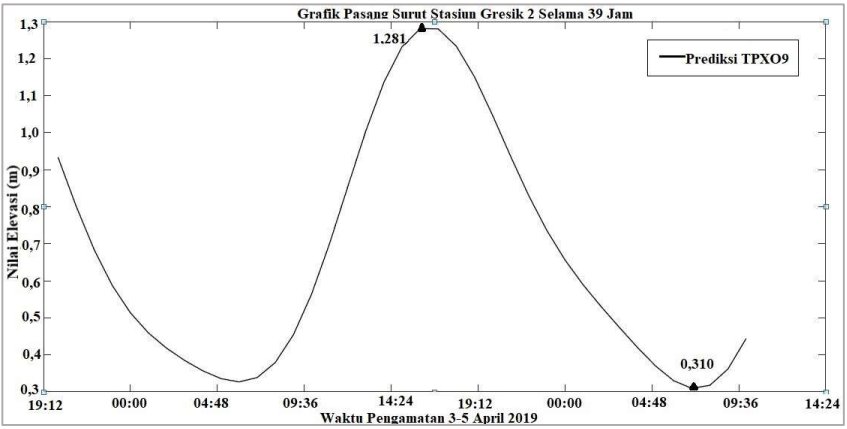
Tabel 4. 22 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Gresik 1

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
2/27/2020 8:00:00	7,156	112,663	1,653
2/27/2020 9:00:00	7,156	112,663	1,701
2/27/2020 10:00:00	7,156	112,663	1,746
2/27/2020 11:00:00	7,156	112,663	1,783
2/27/2020 12:00:00	7,156	112,663	1,807
2/27/2020 13:00:00	7,156	112,663	1,814
2/27/2020 14:00:00	7,156	112,663	1,803

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
….	….	….	….
2/28/2020 16:00:00	7,156	112,663	1,758
2/28/2020 17:00:00	7,156	112,663	1,731
2/28/2020 18:00:00	7,156	112,663	1,704
2/28/2020 19:00:00	7,156	112,663	1,679
2/28/2020 20:00:00	7,156	112,663	1,656
2/28/2020 21:00:00	7,156	112,663	1,636
2/28/2020 22:00:00	7,156	112,663	1,616

3. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global TPXO9 Stasiun Gresik 2

Hasil pengolahan data prediksi TPXO9 pada stasiun pasut Gresik 2 (Dermaga Pantai Dalegan) pada tanggal 3 April 2019 hingga 5 April 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.28, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,281 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,310 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 0,717 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,971 m.



Gambar 4. 28 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Gresik 2

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi TPXO9 yang ditunjukkan pada Tabel 4.23. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

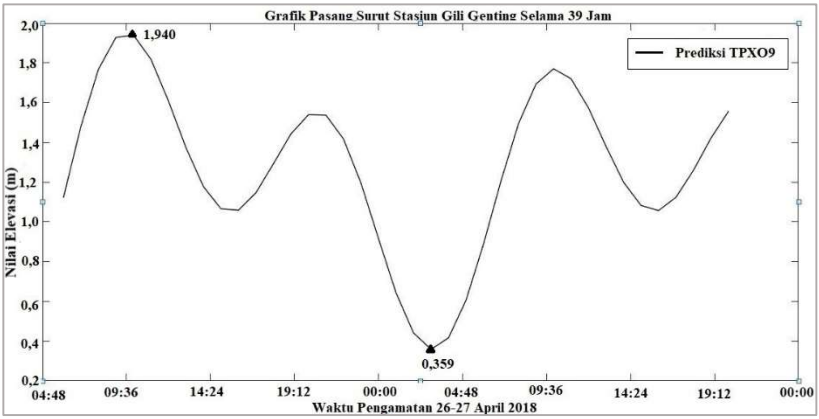
Tabel 4. 23 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Gresik 2

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
4/3/2019 20:00:00	6,892	112,468	0,934
4/3/2019 21:00:00	6,892	112,468	0,802
4/3/2019 22:00:00	6,892	112,468	0,684
4/3/2019 23:00:00	6,892	112,468	0,587
4/4/2019 0:00:00	6,892	112,468	0,514
4/4/2019 1:00:00	6,892	112,468	0,459
4/4/2019 2:00:00	6,892	112,468	0,418
….	….	….	….
4/5/2019 4:00:00	6,892	112,468	0,420

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
4/5/2019 5:00:00	6,892	112,468	0,370
4/5/2019 6:00:00	6,892	112,468	0,330
4/5/2019 7:00:00	6,892	112,468	0,310
4/5/2019 8:00:00	6,892	112,468	0,318
4/5/2019 9:00:00	6,892	112,468	0,362
4/5/2019 10:00:00	6,892	112,468	0,444

4. Hasil Prediksi dan Analisis Pasut Model Global TPXO9 Stasiun Gili Genting

Hasil pengolahan data prediksi TPXO9 pada stasiun pasut di stasiun Gili Genting (Dermaga Bringsang) pada tanggal 26 April 2018 hingga 27 April 2018, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.29, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,940 m, minimum (terendah) adalah sebesar 0,359 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,196 m, dan rentang pasut adalah sebesar 1,581 m.



Gambar 4. 29 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Gili Genting

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi TPXO9 yang ditunjukkan pada Tabel 4.24. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

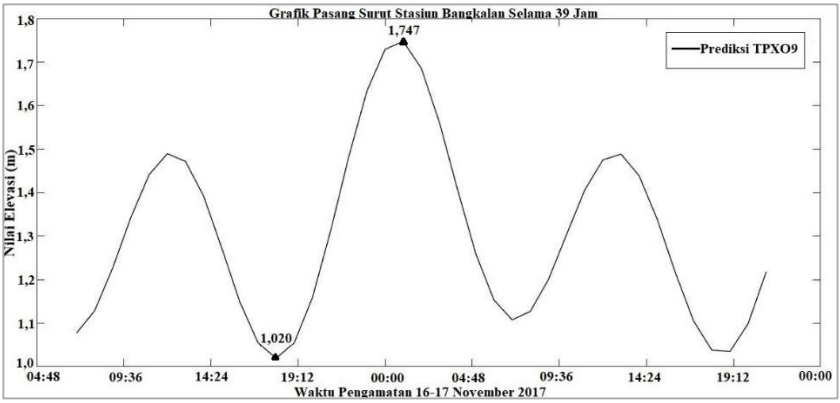
Tabel 4. 24 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Gili Genting

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
4/26/2018 6:00:00	7,175	113,920	1,122
4/26/2018 7:00:00	7,175	113,920	1,481
4/26/2018 8:00:00	7,175	113,920	1,768
4/26/2018 9:00:00	7,175	113,920	1,928
4/26/2018 10:00:00	7,175	113,920	1,940
4/26/2018 11:00:00	7,175	113,920	1,818
4/26/2018 12:00:00	7,175	113,920	1,608
….	….	….	….
4/27/2018 14:00:00	7,175	113,920	1,200

Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
4/27/2018 15:00:00	7,175	113,920	1,083
4/27/2018 16:00:00	7,175	113,920	1,057
4/27/2018 17:00:00	7,175	113,920	1,124
4/27/2018 18:00:00	7,175	113,920	1,261
4/27/2018 19:00:00	7,175	113,920	1,422
4/27/2018 20:00:00	7,175	113,920	1,557

5. Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model Global TPXO9 Stasiun Bangkalan

Hasil pengolahan data prediksi TPXO9 pada stasiun pasut di stasiun Bangkalan (Pelabuhan Kamal) pada tanggal 16 November 2017 hingga 17 November 2019, yang ditunjukkan oleh Gambar 4.30, menunjukkan nilai elevasi pasut maksimum (tertinggi) adalah sebesar 1,747 m, minimum (terendah) adalah sebesar 1,020 m, *mean sea level* (rata-rata) adalah sebesar 1,315 m, dan rentang pasut adalah sebesar 0,728 m.



Gambar 4. 30 Grafik Prediksi Pasut TPXO9 Bangkalan

Berikut ini tabel sampel elevasi pasut prediksi TPXO9 yang ditunjukkan pada Tabel 4.25. Untuk data lengkapnya tercantum pada bagian Lampiran.

Tabel 4. 25 Elevasi Pasut Prediksi TPXO9 Stasiun Bangkalan

Tanggal dan Waktu	**Lintang Selatan (°)**	**Bujur Timur (°)**	**Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)**
11/16/2017 7:00:00	7,175	112,724	1,078
11/16/2017 8:00:00	7,175	112,724	1,129
11/16/2017 9:00:00	7,175	112,724	1,228
11/16/2017 10:00:00	7,175	112,724	1,344
11/16/2017 11:00:00	7,175	112,724	1,441
11/16/2017 12:00:00	7,175	112,724	1,489
11/16/2017 13:00:00	7,175	112,724	1,472
….	….	….	….
11/17/2017 15:00:00	7,175	112,724	1,338
11/17/2017 16:00:00	7,175	112,724	1,215

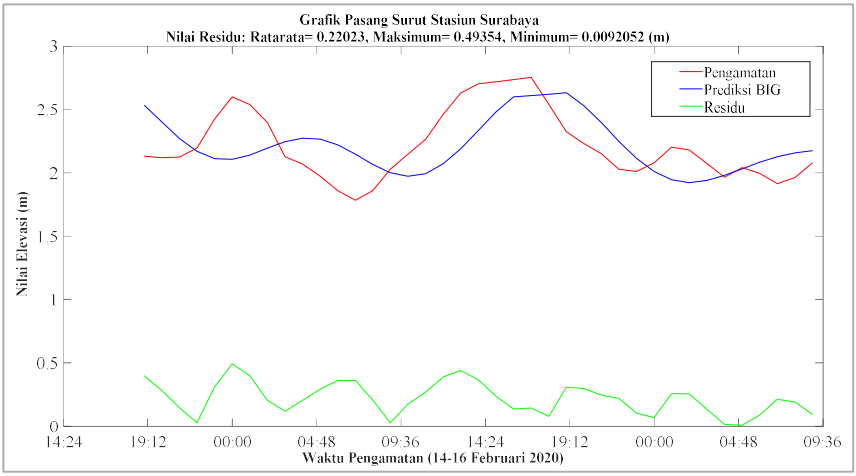
Tanggal dan Waktu	Lintang Selatan (°)	Bujur Timur (°)	Elevasi Prediksi terhadap Pengamatan (m)
11/17/2017 17:00:00	7,175	112,724	1,105
11/17/2017 18:00:00	7,175	112,724	1,038
11/17/2017 19:00:00	7,175	112,724	1,035
11/17/2017 20:00:00	7,175	112,724	1,099
11/17/2017 21:00:00	7,175	112,724	1,218

4.4 Hasil dan Analisis Koreksi *Shifting* Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut

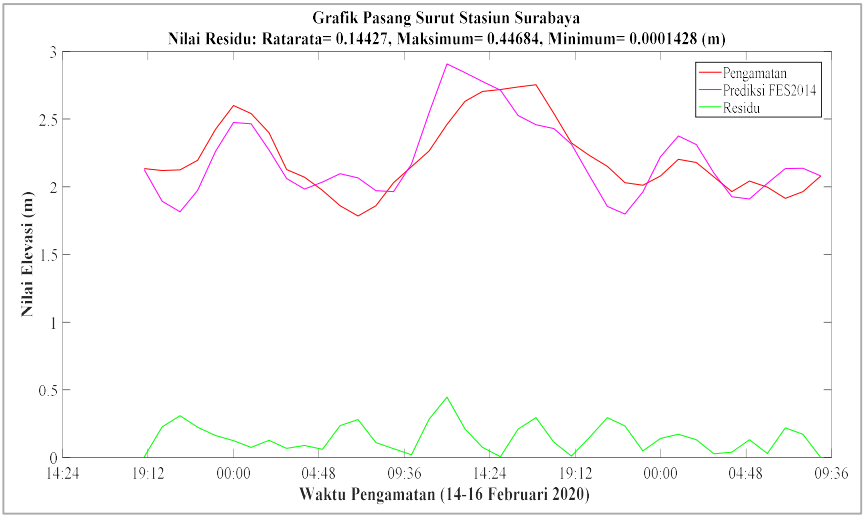
Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan analisis elevasi prediksi pasut masing-masing model yang telah terkoreksi *shifting* terhadap elevasi pengamatan pasut dengan menghitung nilai residu. Nilai residu merupakan nilai absolut yang merupakan selisih antara data pengamatan dan data prediksi. Nilai residu elevasi pasut dihitung nilai maksimum (tertinggi), nilai minimum (terendah), dan nilai rata-rata residu. Pada sub-subbab berikut akan ditunjukkan perbandingan elevasi pengamatan pasut dan elevasi prediksi model regional (prediksi BIG), model global (FES2014, TPXO9).

4.4.1 Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut Stasiun Surabaya

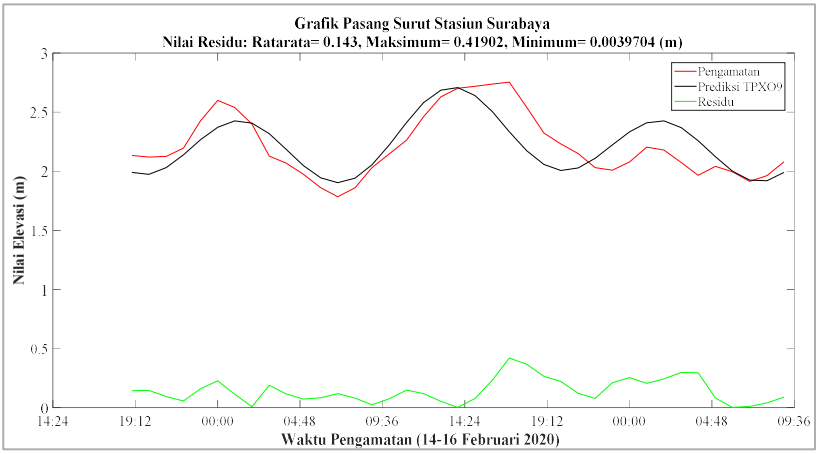
Hasil perbandingan prediksi pasut model terhadap pasut pengamatan di stasiun pasut Surabaya dilakukan dengan *overlay* masing-masing prediksi pasut terhadap pengamatan. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.31, Gambar 4.32, dan Gambar 4.33.



Gambar 4. 31 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Surabaya



Gambar 4. 32 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Surabaya



Gambar 4. 33 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Surabaya

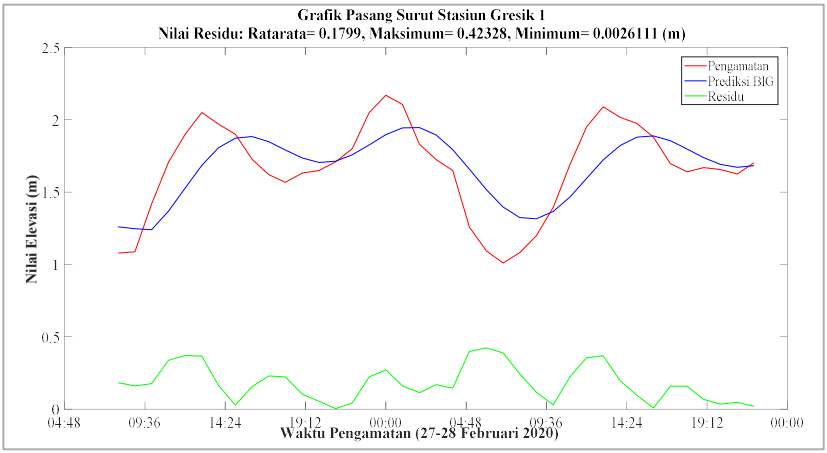
Dari Gambar 4.31, Gambar 4.32, dan Gambar 4.33, ditunjukkan nilai residu maksimum, nilai residu minimum, dan rata-rata residu tiap prediksi model terhadap pengamatan di stasiun pasut Surabaya. Untuk lebih singkatnya dijelaskan pada Tabel 4.26, sebagai berikut:

Tabel 4. 26 Nilai Residu Pasut Stasiun Surabaya

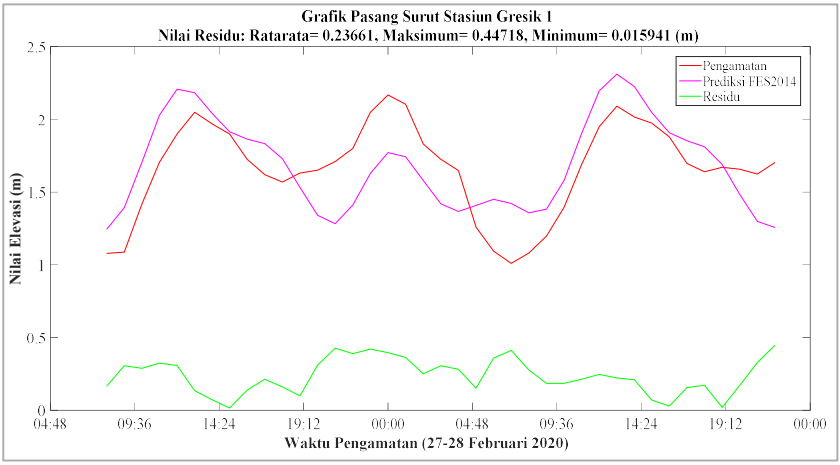
Stasiun	**Tanggal**	**Perbandingan**	**Residu (m)**		
			Minimal	**Maksimal**	**Rata-rata**
Surabaya	14/2/2020-16/2/2020	Pengamatan - Prediksi BIG	0,009	0,494	0,220
		Pengamatan - Prediksi FES2014	0,000	0,447	0,148
		Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,004	0,419	0,143

4.4.2 Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut Stasiun Gresik 1

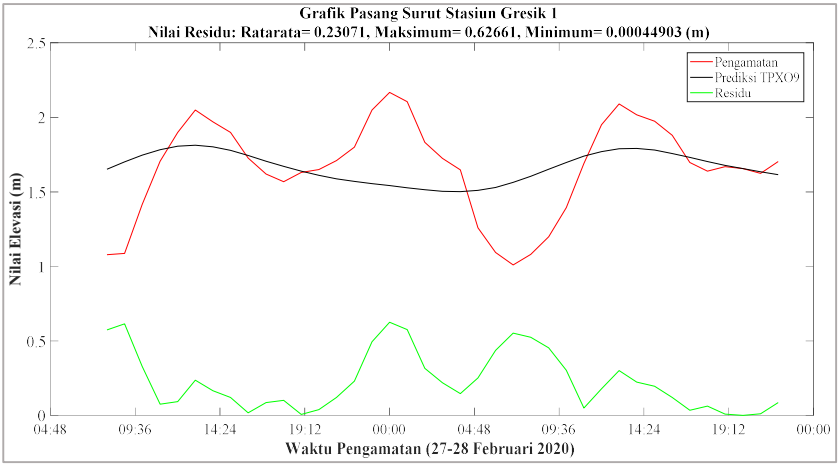
Hasil perbandingan prediksi pasut model terhadap pasut pengamatan di stasiun pasut Gresik 1 dilakukan dengan *overlay* masing-masing prediksi pasut terhadap pengamatan. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.34, Gambar 4.35, dan Gambar 4.36.



Gambar 4. 34 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Gresik 1



Gambar 4. 35 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Gresik 1



Gambar 4. 36 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Gresik 1

Dari Gambar 4.34, Gambar 4.35, dan Gambar 4.36 ditunjukkan nilai residu maksimum, nilai residu

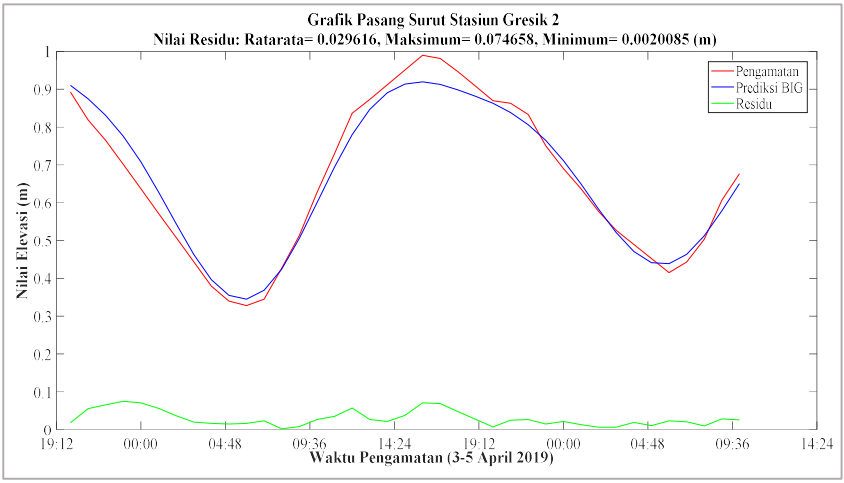
minimum, dan rata-rata residu tiap prediksi model terhadap pengamatan di stasiun pasut Gresik 1. Untuk lebih singkatnya dijelaskan pada Tabel 4.27, sebagai berikut:

Tabel 4. 27 Nilai Residu Pasut Stasiun Gresik 1

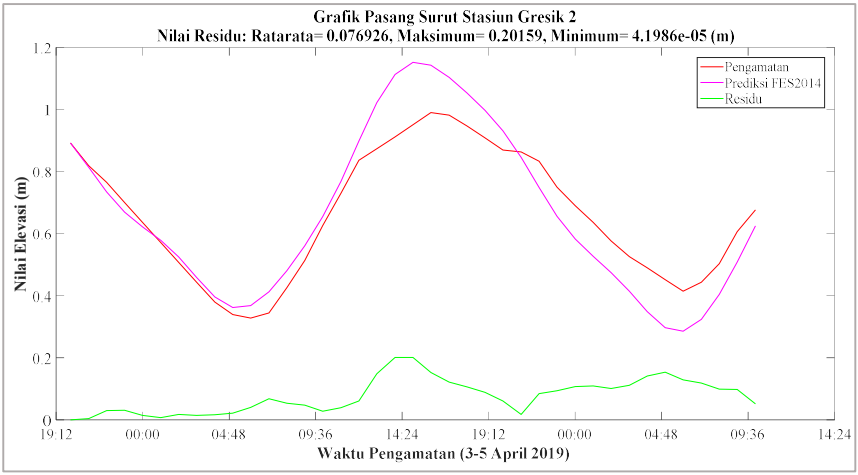
Stasiun	**Tanggal**	**Perbandingan**	**Residu (m)**		
			Minimal	**Maksimal**	**Rata-rata**
Gresik 1	27/2/2020-28/2/2020	Pengamatan - Prediksi BIG	0,003	0,423	0,180
		Pengamatan - Prediksi FES2014	0,016	0,447	0,238
		Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,000	0,627	0,211

4.4.3 Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut Stasiun Gresik 2

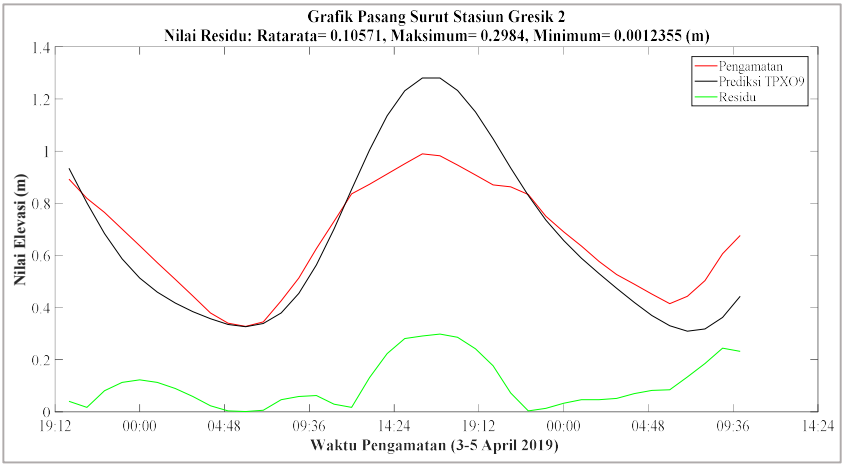
Hasil perbandingan prediksi pasut model terhadap pasut pengamatan di stasiun pasut Gresik 2 dilakukan dengan *overlay* masing-masing prediksi pasut terhadap pengamatan. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.37, Gambar 4.38, dan Gambar 4.39.



Gambar 4. 37 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Gresik 2



Gambar 4. 38 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Gresik 2



Gambar 4. 39 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Gresik 2

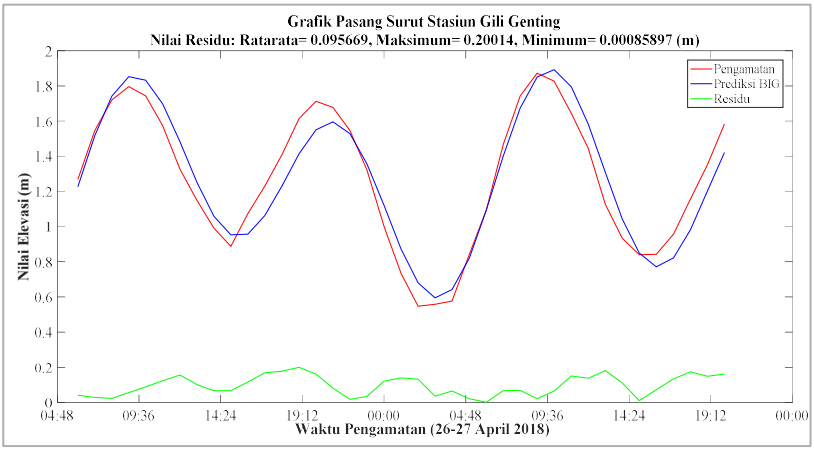
Dari Gambar 4.37, Gambar 4.38, dan Gambar 4.39 ditunjukkan nilai residu maksimum, nilai residu minimum, dan rata-rata residu tiap prediksi model terhadap pengamatan di stasiun pasut Gresik 2. Untuk lebih singkatnya dijelaskan pada Tabel 4.28, sebagai berikut:

Tabel 4. 28 Nilai Residu Pasut Stasiun Gresik 2

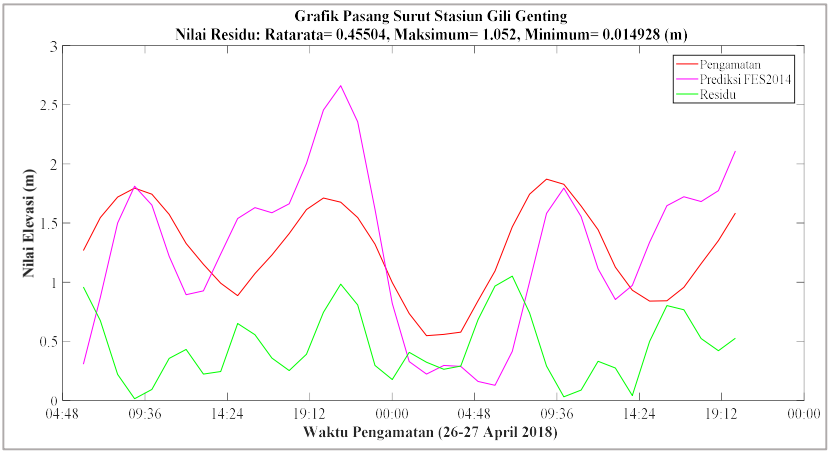
Stasiun	**Tanggal**	**Perbandingan**	**Residu (m)**		
			Minimal	**Maksimal**	**Rata-rata**
Gresik 2	3/4/2019-5/4/2019	Pengamatan - Prediksi BIG	0,002	0,075	0,030
		Pengamatan - Prediksi FES2014	0,005	0,202	0,079
		Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,001	0,298	0,110

4.4.4 Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut Stasiun Gili Genting

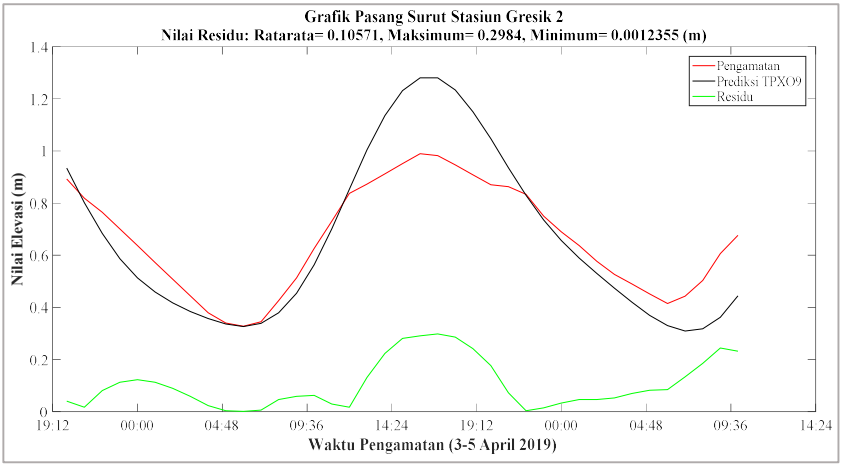
Hasil perbandingan prediksi pasut model terhadap pasut pengamatan di stasiun pasut Gili Genting dilakukan dengan *overlay* masing-masing prediksi pasut terhadap pengamatan. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.40, Gambar 4.41, dan Gambar 4.42.



Gambar 4. 40 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Gili Genting



Gambar 4. 41 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Gili Genting



Gambar 4. 42 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Gili Genting

Dari Gambar 4.40, Gambar 4.41, dan Gambar 4.42 ditunjukkan nilai residu maksimum, nilai residu minimum, dan rata-rata residu tiap prediksi model

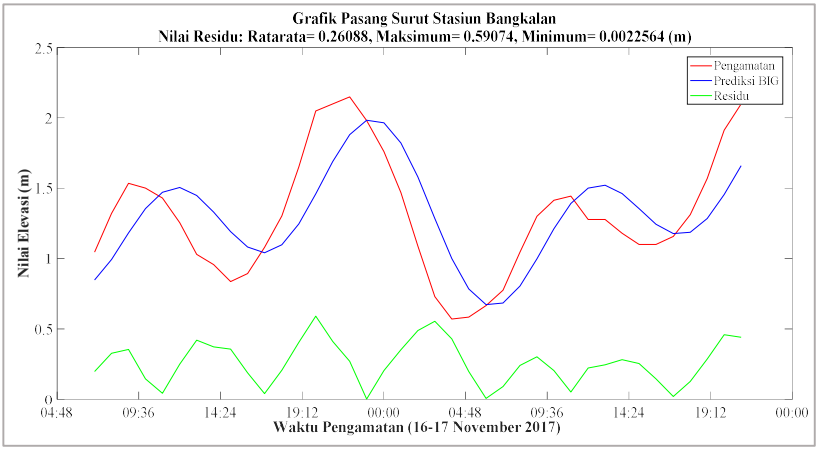
terhadap pengamatan di stasiun pasut Gili Genting. Untuk lebih singkatnya dijelaskan pada Tabel 4.29, sebagai berikut:

Tabel 4. 29 Nilai Residu Pasut Stasiun Gili Genting

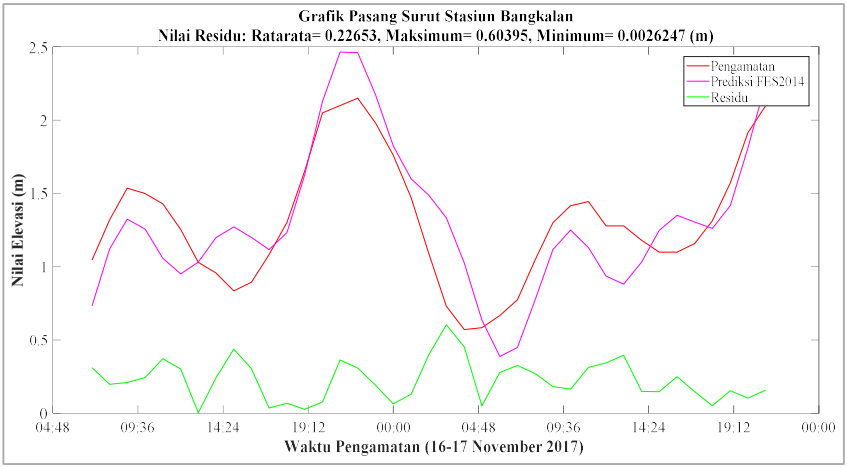
Stasiun	**Tanggal**	**Perbandingan**	**Residu (m)**		
			Minimal	**Maksimal**	**Rata-rata**
Gili Genting	26/4/2018-27/4/2018	Pengamatan - Prediksi BIG	0,001	0,200	0,096
		Pengamatan - Prediksi FES2014	0,015	1,052	0,442
		Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,014	0,281	0,157

4.4.5 Hasil dan Analisis Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut Stasiun Bangkalan

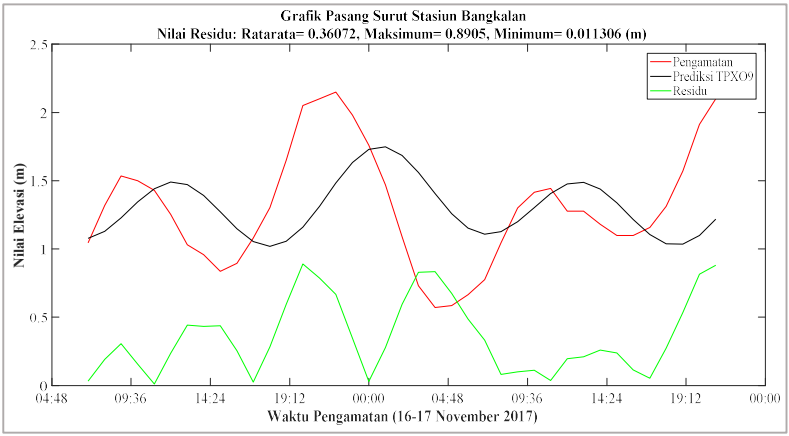
Hasil perbandingan prediksi pasut model terhadap pasut pengamatan di stasiun pasut Bangkalan dilakukan dengan *overlay* masing-masing prediksi pasut terhadap pengamatan. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.43, Gambar 4.44, dan Gambar 4.45.



Gambar 4. 43 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi BIG Bangkalan



Gambar 4. 44 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi FES2014 Bangkalan



Gambar 4. 45 Grafik *Overlay* Pasut Pengamatan dan Prediksi TPXO9 Bangkalan

Dari Gambar 4.43, Gambar 4.44, dan Gambar 4.45 ditunjukkan nilai residu maksimum, nilai residu minimum, dan rata-rata residu tiap prediksi model terhadap pengamatan di stasiun pasut Bangkalan. Untuk lebih singkatnya dijelaskan pada Tabel 4.30, sebagai berikut:

Tabel 4. 30 Nilai Residu Pasut Stasiun Bangkalan

Stasiun	**Tanggal**	**Perbandingan**	**Residu (m)**		
			Minimal	**Maksimal**	**Rata-rata**
Bangkalan	16/11/2017-17/11/2017	Pengamatan - Prediksi BIG	0,002	0,591	0,261
		Pengamatan - Prediksi FES2014	0,003	0,604	0,224
		Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,011	0,890	0,374

4.5 Hasil Perbandingan Perhitungan Prediksi Model Pasut

Setelah didapatkan nilai elevasi pengamatan, nilai elevasi pasut prediksi model regional dan model global, dilakukan perhitungan tingkat kesalahan nilai prediksi model terhadap elevasi hasil pengamatan rambu pasut.

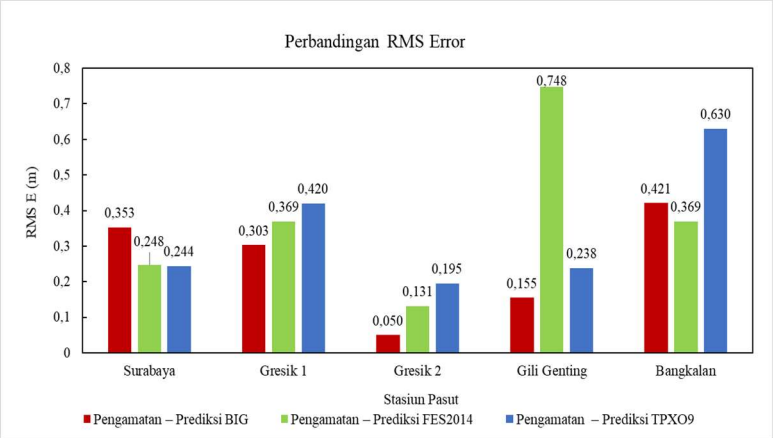
4.5.1 Hasil dan Analisis Perhitungan Tingkat Kesalahan

Tingkat kesalahan dilakukan dengan menghitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) pada masing-masing stasiun. Perhitungan RMSE dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.20 pada sub-bab 2.7 Tingkat Kesalahan. Dari perhitungan, didapatkan nilai RMSE elevasi prediksi model regional (Prediksi BIG) dan model global (FES2014, TPXO9) terhadap pengamatan (referensi) pada seluruh stasiun yang ditunjukkan pada Tabel 4.31, sebagai berikut:

Tabel 4. 31 Nilai RMSE Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Tiap Stasiun

Stasiun	**Tanggal Pengamatan**	**RMS Error (m)**		
		Prediksi BIG	**Prediksi FES2014**	**Prediksi TPXO9**
Surabaya	14/2/2020-16/2/2020	0,353	0,248	0,244
Gresik 1	27/2/2020-28/2/2020	0,303	0,369	0,420
Gresik 2	3/4/2019-5/4/2019	0,050	0,131	0,195
Gili Genting	26/4/2018-27/4/2018	0,155	0,748	0,238
Bangkalan	16/11/2017-17/11/2017	0,421	0,369	0,630

Nilai RMSE elevasi prediksi model regional (Prediksi BIG) dan model global (FES2014, TPXO9) terhadap tinggi muka air laut hasil pengamatan rambu pasut (referensi) pada seluruh stasiun Tabel 4.31 secara grafik ditunjukkan pada Gambar 4.46, sebagai berikut:



Gambar 4. 46 Perbandingan RMSE Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan

Pada Gambar 4.46, menunjukkan nilai RMSE terbesar pada stasiun Surabaya adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi BIG dengan nilai 0,353 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai 0,244 m. Dari nilai RMSE tersebut maka pada stasiun pasut Surabaya, model yang memiliki perbedaan terbesar dengan hasil pengamatan adalah model prediksi BIG dan model yang memiliki perbedaan terkecil dengan hasil pengamatan adalah model prediksi TPXO9.

Pada stasiun Gresik 1, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai 0,420 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan rambu pasut dengan pasut prediksi BIG dengan nilai 0,303 m. Dari nilai RMSE tersebut maka pada stasiun pasut Gresik 1, model yang memiliki perbedaan terbesar dengan hasil pengamatan adalah model prediksi TPXO9 dan model yang memiliki perbedaan terkecil dengan hasil pengamatan adalah model prediksi BIG.

Pada stasiun Gresik 2, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan pasut prediksi TPXO9 dengan nilai 0,195 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi BIG dengan nilai 0,050 m. Dari nilai RMSE tersebut maka pada stasiun pasut Gresik 2, model yang memiliki perbedaan terbesar dengan hasil pengamatan adalah model prediksi TPXO9 dan model yang memiliki perbedaan terkecil dengan hasil pengamatan adalah model prediksi BIG.

Pada stasiun Gili Genting nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi FES2014 dengan nilai 0,748 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan rambu pasut dengan pasut prediksi BIG dengan nilai 0,155 m. Dari nilai RMSE tersebut maka pada stasiun pasut Gili Genting, model yang memiliki perbedaan terbesar dengan hasil pengamatan adalah model prediksi FES2014 dan model yang memiliki perbedaan terkecil dengan hasil pengamatan adalah model prediksi BIG.

Pada stasiun Bangkalan, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi

TPXO9 dengan nilai 0,630 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi FES2014 dengan nilai 0,369 m. Dari nilai RMSE tersebut, maka pada stasiun pasut Bangkalan model yang memiliki perbedaan terbesar dengan hasil pengamatan adalah model prediksi TPXO9 dan model yang memiliki perbedaan terkecil dengan hasil pengamatan adalah model prediksi FES2014.

Berdasarkan nilai RMSE pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.46, di seluruh stasiun pengamatan model regional prediksi BIG adalah model prediksi yang memiliki RMSE terkecil pada 3 stasiun pasut yaitu pada stasiun pasut Gresik 1, Gresik 2, dan Gili Genting dengan nilai RMSE sebesar 0,303 m, 0,050 m, dan 0,155 m. Sedangkan model global TPXO9 memiliki RMSE terbesar pada 3 stasiun pasut yaitu pada stasiun pasut Gresik 1, Gresik 2, dan Bangkalan dengan nilai RMSE sebesar 0,420 m, 0,195 m dan 0,630 m. Nilai RMSE yang dihasilkan antara elevasi pengamatan rambu pasut dan elevasi prediksi BIG dan elevasi prediksi model pasut (FES2014 dan TPXO9) memberikan solusi pada level sentimeter (cm) sampai level desimeter (dm).

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa model pasut yang paling konsisten mendekati kondisi pasang surut eksisting dalam hal ini hasil pengamatan atau memiliki RMSE terkecil terbanyak di seluruh stasiun pasut Perairan Surabaya dan sekitarnya adalah model regional (Prediksi BIG). Sedangkan model pasut yang paling konsisten menjauhi kondisi pasang surut eksisting dalam hal ini hasil pengamatan atau memiliki RMSE terbesar terbanyak di seluruh stasiun pasut adalah model global TPXO9.

4.5.2 Hasil dan Analisis Korelasi Prediksi Pasut Model terhadap Pengamatan Pasut

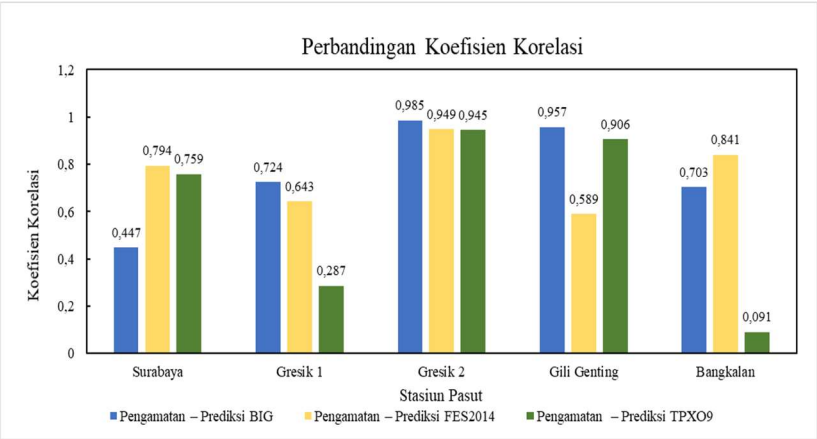
Perhitungan korelasi untuk mengukur eratnya hubungan antara elevasi pengamatan dan elevasi prediksi pasut. Dengan menggunakan persamaan 2.18 pada sub-bab 2.6 Uji Korelasi, dihitung korelasi antara elevasi pengamatan dan masing-masing prediksi pasut model elevasi prediksi model regional (Prediksi BIG) dan model global (FES2014 dan TPXO9) di setiap stasiun pasut. Dari perhitungan, didapatkan nilai koefisien korelasi dan tingkat hubungan berdasarkan tabel tingkat korelasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.32 adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 32 Tingkat Korelasi Prediksi Pasut terhadap Pengamatan Tiap Stasiun

Stasiun	**Pasangan Korelasi**	**Koefisien Korelasi**	**Tingkat Hubungan**
Surabaya	Pengamatan - Prediksi BIG	0,447	Korelasi sedang
	Pengamatan - Prediksi FES2014	0,794	Korelasi tinggi
	Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,759	Korelasi tinggi
Gresik 1	Pengamatan - Prediksi BIG	0,723	Korelasi tinggi
	Pengamatan - Prediksi FES2014	0,643	Korelasi tinggi
	Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,287	Korelasi sedang

Stasiun	Pasangan Korelasi	Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
Gresik 2	Pengamatan - Prediksi BIG	0,985	Korelasi sangat tinggi
	Pengamatan - Prediksi FES2014	0,949	Korelasi sangat tinggi
	Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,945	Korelasi sangat tinggi
Gili Genting	Pengamatan - Prediksi BIG	0,957	Korelasi sangat tinggi
	Pengamatan - Prediksi FES2014	0,589	Korelasi sedang
	Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,906	Korelasi sangat tinggi
Bangkalan	Pengamatan - Prediksi BIG	0,702	Korelasi tinggi
	Pengamatan - Prediksi FES2014	0,841	Korelasi sangat tinggi
	Pengamatan - Prediksi TPXO9	0,091	Korelasi sangat rendah

Nilai koefisien korelasi elevasi pengamatan dan elevasi prediksi pasut model model regional (Prediksi BIG) dan model global (FES2014, TPXO9) di setiap stasiun pasut. Pada seluruh stasiun pada Tabel 4.32 secara grafik ditunjukkan pada Gambar 4.47 sebagai berikut:



Gambar 4. 47 Perbandingan Nilai Korelasi Prediksi Pasut terhadap Pengamatan

Dari Gambar 4.47, dapat diketahui nilai koefisien korelasi tertinggi dan terendah di masing-masing stasiun pasut. Nilai koefisien korelasi tertinggi pada stasiun pasut Surabaya adalah hubungan antara pengamatan dan prediksi FES2014 dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,794 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi, sedangkan nilai korelasi terendah adalah hubungan antara pengamatan dengan prediksi BIG dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,447 dengan tingkat hubungan korelasi sedang.

Pada stasiun pasut Gresik 1, nilai koefisien korelasi tertinggi adalah hubungan antara pengamatan dan prediksi BIG dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,723 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi, sedangkan nilai korelasi terendah adalah hubungan antara pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,287 dengan tingkat hubungan korelasi sedang.

Pada stasiun pasut Gresik 2, nilai koefisien korelasi tertinggi adalah hubungan antara pengamatan dan prediksi BIG dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,985 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi, sedangkan nilai korelasi terendah adalah hubungan antara pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,945 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi.

Pada stasiun pasut Gili Genting, nilai koefisien korelasi tertinggi adalah hubungan antara pengamatan dan prediksi BIG dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,957 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi, sedangkan nilai korelasi terendah adalah hubungan antara pengamatan dengan prediksi FES2014 dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,589 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi.

Pada stasiun pasut Bangkalan, nilai koefisien korelasi tertinggi adalah hubungan antara pengamatan dan prediksi FES2014 dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,702 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi, sedangkan nilai korelasi terendah adalah hubungan antara pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,091 dengan tingkat hubungan korelasi tinggi.

Pada penjelasan sebelumnya telah ditunjukkan tingkat hubungan antara pasangan pengamatan dan prediksi model pada masing-masing stasiun. Untuk mengetahui tingkat hubungan masing-masing pasangan pengamatan dengan prediksi model pada seluruh stasiun, dihitung rata-rata nilai koefisien korelasi masing-masing pasangan tersebut pada seluruh stasiun. Pada Tabel 4.33, ditunjukkan nilai rata-rata nilai koefisien korelasi masing-masing

pasangan pengamatan dan prediksi pada seluruh stasiun pasut adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 33 Nilai Rata-rata Korelasi Prediksi Pasut terhadap Pengamatan di Seluruh Stasiun Pasut

Stasiun	**Kofisien Korelasi**		
	Pengamatan - Prediksi BIG	**Pengamatan - Prediksi FES2014**	**Pengamatan - Prediksi TPXO9**
Surabaya	0,447	0,794	0,759
Gresik 1	0,724	0,643	0,287
Gresik 2	0,985	0,949	0,945
Gili Genting	0,957	0,589	0,906
Bangkalan	0,703	0,841	0,091
Jumlah	**3,816**	**3,816**	**2,988**
Rata-rata	**0,763**	**0,763**	**0,598**
Tingkat Rata-rata Hubungan	**korelasi tinggi**	**korelasi tinggi**	**korelasi sedang**

Hasil perhitungan rata-rata nilai koefisien korelasi masing-masing pasangan pengamatan dengan prediksi pada seluruh stasiun pasut pada Tabel 4.33, menunjukkan bahwa tingkat hubungan rata-rata antara elevasi pasut pengamatan dengan elevasi prediksi BIG dan tingkat hubungan rata-rata antara elevasi pasut pengamatan dan elevasi prediksi FES2014 adalah sama yaitu sebesar 0,763 yang menunjukkan tingkat hubungan dua pasangan tersebut berkorelasi tinggi. Sedangkan tingkat hubungan rata-rata antara elevasi pasut pengamatan

dengan elevasi prediksi TPXO9 adalah sebesar 0,598 yang menunjukkan tingkat hubungan pasangan tersebut berkorelasi sedang.

4.5.3 Hasil dan Analisis Uji T

Untuk menguji perbedaan yang signifikan antara rata-rata elevasi prediksi terhadap rata-rata elevasi pengamatan dapat dilakukan uji t. Pada penelitian ini dilakukan uji t sampel berpasangan dua pihak dengan membandingkan nilai rata-rata sampel berpasangan. Uji t ini dilakukan dengan menghitung nilai t hitung dan signifikansi antara pasangan sampel. Pada Tabel 4.34 ditunjukkan hasil perhitungan uji t adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 34 Hasil Perhitungan Uji T

Stasiun Pasut	**Pasangan Sampel**	**Rata-rata Selisih (m)**	**t hitung**	**t tabel**	**Sig. (2-tailed)**
Surabaya	Lapangan - PrediksiBIG	0,004	0,086	2,024	0,932
	Lapangan - Prediksi FES2014	0,010	0,341	2,024	0,735
	Lapangan - Prediksi TPXO9	0,000	0,001	2,024	0,999
Gresik 1	Lapangan - PrediksiBIG	-0,004	-0,123	2,024	0,903
	Lapangan - Prediksi FES2014	-0,022	-0,506	2,024	0,616
	Lapangan - Prediksi TPXO9	0,000	0,002	2,024	0,999

Stasiun Pasut	Pasangan Sampel	Rata-rata Selisih (m)	t hitung	t tabel	Sig. (2-tailed)
Gresik 2	Lapangan - PrediksiBIG	0,000	-0,053	2,024	0,958
	Lapangan - Prediksi FES2014	0,000	0,003	2,024	0,997
	Lapangan - Prediksi TPXO9	0,000	0,002	2,024	0,998
Gili Genting	Lapangan - PrediksiBIG	0,000	-0,007	2,024	0,994
	Lapangan - Prediksi FES2014	0,000	0,000	2,024	1,000
	Lapangan - Prediksi TPXO9	0,000	-0,002	2,024	0,999
Bangkalan	Lapangan - PrediksiBIG	0,003	0,062	2,024	0,951
	Lapangan - Prediksi FES2014	0,003	0,065	2,024	0,948
	Lapangan - Prediksi TPXO9	0,003	0,039	2,024	0,969

Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.34 diketahui nilai t_{hitung} dari semua pasangan sampel adalah lebih kecil daripada nilai t_{tabel} ($t_{hitung} < t_{table}$) yang artinya Ho diterima, maka Ha ditolak. Nilai signifikansi (p) semua pasangan sampel juga lebih besar dari 0,05 (Sig: $p > 0,05$). Maka kesimpulan dari uji t ini adalah tidak ada selisih nilai rata-rata yang signifikan antara elevasi pengamatan terhadap elevasi prediksi model di seluruh stasiun pasut pada taraf signifikansi 5%.

4.6 Analisis Perbandingan Kesesuaian Model Pasut

Berdasarkan hasil analisis nilai RMSE dan nilai koefisien korelasi pada penelitian ini, hasil prediksi model regional lebih mendekati kondisi pasang surut eksisting atau hasil pengamatan yang ditunjukkan dengan nilai RMSE terkecil terbanyak di seluruh stasiun pasut dan tingkat hubungan tertinggi yang ditunjukkan dengan nilai korelasi rata-rata terbesar adalah model regional (Prediksi BIG). Sedangkan model pasut yang paling menjauhi kondisi pasang surut eksisting atau hasil pengamatan yang ditunjukkan dengan nilai RMSE terbesar terbanyak di seluruh stasiun pasut dan tingkat hubungan terendah ditunjukkan dengan nilai korelasi rata-rata terkecil adalah model global TPXO9 dibandingan dengan model regional prediksi BIG dan model global FES2014. Hal tersebut diakibatkan oleh beberapa hal yaitu:

1. Model regional prediksi BIG merupakan model yang telah diasimilasi dengan data pengamatan langsung di stasiun-stasiun pasut permanen milik Badan Informasi Geospasial (BIG) yang tersebar di seluruh Indonesia, maka dari itu model regional prediksi BIG dapat disebut sebagai model yang paling mendekati karakteristik pasang surut di Perairan Indonesia.
2. Model global FES2014 dan merupakan model yang memiliki misi untuk pemodelan laut dangkal dengan bentuk *grid* yang memiliki resolusi jarak 1/16° (Lyard, dkk. 2006), sedangkan TPXO9 merupakan model global yang cocok untuk negara kepulauan dan memiliki resolusi jarak 1/30° (Egbert, dkk. 2010). Model pasut TPXO9 memiliki resolusi yang lebih tinggi dari FES2014, namun tingkat kesalahannya tidak lebih kecil daripada model FES2014 dibeberapa stasiun yaitu di stasiun Gresik 1, Gresik 2, dan

Bangkalan. Hal tersebut dapat terjadi diakibatkan dua hal, yaitu sebagai berikut:

- Daerah penelitian yang berlokasi di Perairan Surabaya dan sekitarnya merupakan daerah perairan dangkal. Model pasut FES2014 telah ditingkatkan ketelitiannya untuk daerah perairan dangkal (Lyard, dkk. 2006).
- Pada Tabel 4.35 di bawah ini merupakan nilai amplitudo konstituen maksimum dan minimum pada tiap stasiun pengamatan. Hasil interpolasi model global FES2014 dan TPXO9 menunjukkan bahwa konstituen M_4 yang terjadi karena faktor oleh perairan dangkal pada model TPXO9 memiliki nilai yang minimum hampir mendekati nol di seluruh stasiun pasut pengamatan. Hal tersebut menunjukkan bahwa konstituen M_4 tidak berperan banyak dalam membentuk pola pasut prediksi model TPXO9, sehingga dapat mengakibatkan hasil prediksi pasut model TPXO9 memiliki kesalahan yang tidak lebih kecil jika dibandingkan dengan model global FES2014 pada penelitian ini.

Tabel 4. 35. Nilai Amplitudo Terbesar dan Terkecil Hasil Interpolasi Konstituen Model Global

Stasiun	**Model**	**Nilai Amplitudo Konstituen (cm)**	
		Terbesar	**Terkecil**
Surabaya	FES2014	K_1 (25,617)	K_2 (3,094)
	TPXO9	M_2 (14,937)	M_4 (0,298)
Gresik 1	FES2014	K_1 (25,917)	K_2 (2,367)
	TPXO9	O_1 (8,832)	M_4 (0,108)
Gresik 2	FES2014	K_1 (30,292)	K_2 (0,921)
	TPXO9	O_1 (27,748)	M_4 (0,000)

Stasiun	Model	Nilai Amplitudo Konstituen (cm)	
		Terbesar	**Terkecil**
Gili Genting	FES2014	K_1 (37,800)	K_2 (4,018)
	TPXO9	M_2 (26,478)	M_4 (0,241)
Bangkalan	FES2014	K_1 (34,151)	K_2 (3,342)
	TPXO9	M_2 (13,550)	M_4 (0,270)

4.7 Hasil Perhitungan *Chart Datum* Model Pasut

Pada penelitian ini, dilakukan perhitungan *chart datum* HHWL (*Higher High Water Level*), MSL (*Mean Sea Level*), dan LLWL (*Lower Low Water Level*) menggunakan konstituen-konstituen hasil perhitungan metode *least square* data pasut prediksi model regional (Prediksi BIG) dan model global (FES2014, TPXO9) dengan panjang data 15 hari dan interval 1 jam menggunakan persamaan yang tertera pada sub-bab 2.4 Metode Perataan Kuadrat Terkecil. Perhitungan *chart datum* dilakukan menggunakan persamaan yang ada pada Tabel 2.2 pada sub-subab 2.1.4 Datum Pasang Surut. Berikut adalah hasil perhitungan *chart datum* masing-masing stasiun pasut yang ditunjukkan oleh Tabel 4.36.

Tabel 4. 36 Hasil Perhitungan *Chart Datum*

Stasiun	Tanggal	Model Pasut	Chart Datum			Rentang Pasut
			HHWL (m)	MSL (m)	LLWL (m)	
Surabaya	14-29 Februari 2020	Prediksi BIG	3,639	2,246	0,853	2,786
		FES2014	3,092	2,290	1,488	1,604
		TPXO9	2,684	2,261	1,837	0,847

Stasiun	Tanggal	Model Pasut	Chart Datum			Rentang Pasut
			HHWL (m)	MSL (m)	LLWL (m)	
Gresik 1	27 Feb-13 Maret 2020	Prediksi BIG	3,293	1,687	0,080	3,213
		FES2014	2,398	1,653	0,908	1,490
		TPXO9	1,802	1,638	1,474	0,328
Gresik 2	3-18 April 2019	Prediksi BIG	1,846	0,695	-0,455	2,301
		FES2014	1,333	0,731	0,129	1,204
		TPXO9	1,267	0,747	0,226	1,041
Gili Genting	26 April-11 Mei 2018	Prediksi BIG	2,452	1,236	0,019	2,433
		FES2014	2,510	1,218	-0,073	2,583
		TPXO9	2,250	1,188	0,125	2,125
Bangkalan	16 Nov-1 Des 2017	Prediksi BIG	2,516	1,322	0,127	2,389
		FES2014	2,385	1,325	0,266	2,119
		TPXO9	1,725	1,341	0,956	0,769

Hasil perhitungan *chart datum* pada Tabel 4.36 menujukkan bahwa variasi nilai HHWL, MSL, dan LLWL yang dimiliki masing-masing prediksi pasut berbeda-beda. Nilai HHWL prediksi BIG, FES2014 dan TPXO9 di masing-masing stasiun pasut memiliki simpangan baku sebesar 0,136 m sampai 0,750 m. Nilai LLWL prediksi BIG, FES2014 dan TPXO9 di masing-masing stasiun pasut juga memiliki simpangan baku sebesar 0,099 m sampai 0,701 m. Untuk nilai MSL prediksi BIG, FES2014 dan TPXO9 di masing-masing stasiun pasut memiliki simpangan baku sebesar 0,010 m sampai 0,026 m. Maka dapat dilihat bahwa nilai HHWL dan LLWL prediksi pasut di masing-masing stasiun pasut memiliki selisih yang cukup besar sedangkan nilai MSL

cenderung stabil karena selisih antara MSL masing-masing prediksi pasut tidak terlalu besar. Hal tersebut dikarenakan perbedaan nilai konstituen-konstituen pasut hasil perhitungan metode *least square* yang dimiliki masing-masing prediksi pasut.

Hampir di seluruh stasiun pasut, nilai HHWL tertinggi dan nilai LLWL terendah adalah milik prediksi BIG kecuali nilai HHWL dan LLWL di stasiun pasut Gili Genting. Di stasiun pasut Gili Genting, nilai HHWL tertinggi dan nilai LLWL terendah adalah milik prediksi FES2014 dengan nilai tertinggi adalah 2,510 m dan nilai terendah adalah -0,073 m.

Perbedaan vertikal antara pasang tinggi dan pasang rendah disebut rentang pasang-surut atau tunggang pasut (*tidal range*). Rentang pasut dapat dihitung dengan mengurangkan nilai HHWL dengan nilai LLWL. Sama halnya dengan nilai HHWL dan nilai LLWL, rentang pasut paling tinggi adalah rentang pasut milik prediksi BIG. Hampir di seluruh stasiun kecuali stasiun pasut Gili Genting, perbedaan vertikal antara pasang tinggi dan pasang rendah milik prediksi BIG mempunyai rentang pasut yang tinggi. Di stasiun pasut Gili Genting, nilai rentang pasut yang nilainya paling tinggi adalah milik prediksi FES2014 dengan nilai rentang pasut sebesar 2,583 m.

Pada analisis tingkat kesalahan di sub-bab 4.5.1 dan analisis korelasi pada sub-bab 4.5.2 antara data pengamatan dan data prediksi FES2014 diketahui bahwa nilai RMSE terbesar di stasiun pasut Gili Genting adalah RMSE prediksi FES2014, sedangkan tingkat korelasi hubungan model prediksi yang paling kecil adalah tingkat korelasi pengamatan dengan prediksi FES2014. Dari hal tersebut, perbedaan dapat terjadi karena elevasi prediksi FES2014 di stasiun Gili Genting pada penelitian ini tidak terlalu mendekati kondisi eksisting pasut pengamatan.

Hasil perhitungan konstituen pasut dengan menggunakan metode *least square* dihitung menggunakan persamaan pada sub-bab 2.4 Metode Perataan Kuadrat Terkecil, kemudian amplitudo dan fase konstituen pasut hasil perhitungan *least square* dihitung dengan persamaan *formzahl* yaitu persamaan 2.1 yang ada pada sub-subbab 2.1.2 Tipe Pasang Surut. Hasil perhitungan *formzahl* dan tipe pasang surut di setiap stasiun pasut ditunjukkan oleh Tabel 4.37 sebagai berikut:

Tabel 4. 37 Perhitungan Tipe Pasang Surut

Stasiun	**Model Pasut**	**Bilangan Formzahl (F)**	**Tipe Pasang Surut**
Surabaya	Prediksi BIG	1,274	Mixed Semidiurnal
	FES2014	1,327	Mixed Semidiurnal
	TPXO9	0,424	Mixed Semidiurnal
Gresik 1	Prediksi BIG	2,445	Mixed Diurnal
	FES2014	1,655	Mixed Diurnal
	TPXO9	4,693	Diurnal
Gresik 2	Prediksi BIG	7,514	Diurnal
	FES2014	8,735	Diurnal
	TPXO9	4,887	Diurnal
Gili Genting	Prediksi BIG	0,869	Mixed Semidiurnal
	FES2014	1,153	Mixed Semidiurnal
	TPXO9	0,909	Mixed Semidiurnal
Bangkalan	Prediksi BIG	1,100	Mixed Semidiurnal
	FES2014	1,355	Mixed Semidiurnal
	TPXO9	0,424	Mixed Semidiurnal

Pada Tabel 4.37, menunjukkan bahwa pada stasiun pasut Surabaya, Gili Genting, dan Bangkalan pasut model prediksi BIG, FES2014, dan TPXO9 memiliki tipe pasut *mixed semidiurnal* yaitu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dalam sehari tetapi terkadang juga terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Sedangkan pada stasiun pasut Gresik 2, semua prediksi pasut model memiliki tipe pasut *diurnal* yaitu terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari. Berbeda dengan stasiun pasut yang lain, pada stasiun pasut Gresik 1 pasut model TPXO9 memiliki tipe pasut yang berbeda dengan tipe pasut model prediksi BIG dan FES2014. Tipe pasut model prediksi BIG adalah *diurnal* namun prediksi pasut model BIG dan FES2014 memliki tipe pasut yang berbeda yaitu *mixed diurnal*.

Hal tersebut dapat disebabkan karena pada analisis tingkat kesalahan pada sub-bab 4.5.1 dan analisis korelasi pada sub-bab 4.5.2 antara data pengamatan dan data prediksi TPXO9 diketahui bahwa nilai RMSE terbesar di stasiun pasut Gresik 1 adalah RMSE prediksi TPXO9, sedangkan tingkat korelasi hubungan model prediksi yang paling kecil adalah tingkat korelasi pengamatan dengan prediksi TPXO9. Dari hal tersebut maka perbedaan tersebut dapat terjadi karena elevasi prediksi FES2014 di stasiun Gresik 1 pada penelitian ini tidak terlalu mendekati kondisi eksisting pasang surut pengamatan.

BAB V
PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan tentang Analisis Perbandingan Akurasi Model Pasang Surut Global (FES2014, TPXO9) dan Regional (Predikisi BIG) terhadap Kondisi Pasang Surut Eksisting di Perairan Surabaya dan Sekitarnya, dapat ditarik kesimpulan antara lain:

1. Perhitungan elevasi prediksi pasut model global FES2014 dan TPXO9 di lima stasiun pasut yaitu stasiun pasut Surabaya, Gresik 1, Gresik 2, Gili Genting, dan Bangkalan diperoleh nilai elevasi maksimum, minimum, *mean sea level* dan rentang pasut.
2. Perbandingan tingkat kesalahan elevasi prediksi model pasut prediksi BIG, FES2014, dan TPXO9 terhadap elevasi pasut pengamatan dilakukan dengan perhitungan RMSE. Hasil perhitungan RMSE prediksi pasut model terhadap pengamatan di masing-masing stasiun adalah sebagai berikut:
   - Pada stasiun Surabaya, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi BIG dengan nilai 0,353 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai 0,244 m.
   - Pada stasiun Gresik 1, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai 0,420 m dan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan pasut prediksi BIG dengan nilai 0,303 m.
   - Pada stasiun Gresik 2, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi TPXO9

dengan nilai 0,195 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi BIG dengan nilai 0,050 m.

- Pada stasiun Gili Genting, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi FES2014 dengan nilai 0,748 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi BIG dengan nilai 0,155 m.
- Pada stasiun Bangkalan, nilai RMSE terbesar adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi TPXO9 dengan nilai 0,630 m. Sedangkan nilai RMSE terkecil adalah perbandingan pengamatan dengan prediksi FES2014 dengan nilai 0,369 m.

3. Berdasarkan nilai RMSE di seluruh stasiun pasut, Model regional prediksi BIG memiliki nilai RMSE paling kecil dibandingan model pasut lainnya (FES2014 dan TPXO9) di tiga stasiun pasut yaitu pada stasiun pasut Gresik 1, Gresik 2, dan Gili Genting dengan nilai RMSE sebesar 0,303 m, 0,050 m, dan 0,155 m. Sedangkan model global TPXO9 memiliki RMSE terbesar pada 3 stasiun pasut yaitu pada stasiun pasut Gresik 1, Gresik 2, dan Bangkalan dengan nilai RMSE sebesar 0,420 m, 0,195 m dan 0,630 m.
4. Nilai HHWL prediksi BIG, FES2014 dan TPXO9 di masing-masing stasiun pasut memiliki simpangan baku sebesar 0,136 m sampai 0,750 m. Nilai LLWL prediksi BIG, FES2014 dan TPXO9 di masing-masing stasiun pasut juga memiliki simpangan baku sebesar 0,099 m sampai 0,701 m. Untuk nilai MSL prediksi BIG, FES2014 dan TPXO9 di masing-masing stasiun pasut memiliki simpangan baku sebesar 0,010 m sampai 0,026 m.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya pada bidang terkait adalah sebagai berikut:

1. Melakukan pengamatan pasang surut lapangan dengan waktu pengamatan lebih lama agar semakin merepresentasikan kondisi pasang surut di lapangan.
2. Menentukan posisi stasiun pasang surut penelitian secara teliti menggunakan GPS RTK/Geodetik pada titik stasiun pasang surut agar lokasi koordinat stasiun lebih tepat.
3. Menggunakan model pasang surut lainnya yang lebih menggambarkan perairan daerah yang akan dilakukan penelitian.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

Andersen, O.B. 1995. "Intercomparison of Recent Ocean Tide Models." *Journal of Geophysics* 100 (C12): 25, 261-25, 282 .

Arikunto, S. 2010. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik.* Jakarta: Rineka Cipta.

Azis, M Furqon. 2006. "Gerak Air di Laut." *Oseana* 9-21.

Badan Informasi Geospasial. 2019. *BIG Bangun 280 Stasiun Pasang Surut di Indonesia.* Diakses 12 27, 2019. :https://www.cendananews.com/2019/12/big-bangun-280-stasiun-pasang-surut-diindonesia.html/.

Badan Informasi Geospasial dan Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL. 2018. *Pemerintah Keluarkan Data ResmiferdiaWilayah Kelautan Indonesia, Apa Saja yang Terbaru?* Diakses 12 27, 2019. URL:https://www.mongabay.co.id/2018/08/27/pemerintah-keluarkan-data-resmi-wilayahkelautan-indonesia-apa-saja-yang-terbaru/.

Bancin, F W. 2012. *Tidal Observation Methods.* Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Basith, Abdul, dan Yudhono Prakoso. 2015. "Kontribusi Konstanta Pasang Surut Perairan Dangkal Terhadap Pasang Surut di Sekitar Pulau Jawa." *Prosiding Forum Ilmiah Tahunan Ikatan Surveyor Indonesia (FIT ISI).* Malang: Ikatan Surveyor Indonesia.

Benyamin, A, D Pratomo, dan Yuwono. 2007. *Penentuan Chart Datum Dengan Menggunakan Komponen Pasut Untuk Penentuan Kedalaman Kolam Dermaga.* Surabaya: ITS.

Bioresita, Filsa, dan Muhammad Taufik. 2013. "Analisa Potensi Genangan Berdasarkan Data Curah Hujan Global Trmm (Tropical Rainfall Measuring Mission) (Studi Kasus : Kabupaten Sampang)." *Geoid* 187.

Candra. 2013. *Pusat Riset Kelautan-Pusrikel.* 13 Juni. Diakses 4 Agustus 2020. http://pusriskel.litbang.kkp.go.id/index.php/en/data/batimetri/selat-madura

Dronkers, J J. 1964. *Tidal Computations in Rivers and Coastal Water.* Amsterdam: North -Holland Publishing Company.

Egbert, G D, S Y Erofeeva, dan R D Ray. 2010. " Assimilation of altimetry data for nonlinear shallow-water tides: Quarterdiurnal tides of the Northwest European Shelf." *Continental Shelf Research* 668-679.

ESRI. 2020. *ArcGIS Pro.* Diakses 10 Juni 2020. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/multidimensional/what-is-netcdf-data.htm.

Faridatunnisa, Maritsa. 2015. *Evaluasi Ketelitian Model Pasang Surut Regional dan Global menggunakan Data Pasang Surut Terestris dan Satelit Altimetri di Wilayah Perairan Pulau Jawa.* Undergraduate Thesis, Yogyakarta: Teknik Geodesi.

Faridatunnisa, Maritsa, Leni Sophia Heliani, dan Dwi Lestari. 2018. "Utilization of Tide Observation and Satellite Altimetry Data for Detecting Land Vertical Movement." *Geospatial Information Science and Engineering* 1: 104-112.

FEMA. 2016. *Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping.* Federal Emergency Management Agency.

Ferdiansyah, Ferry. 2019. *Pengolahan Data Pasut dengan Program T_Tide di Wilayah Stasiun Pegametan Bali Utara dan Pengambengan Bali Selatan.* Bandung: Institut Teknologi Nasional.

Fisheries and Ocean Canada. 2019. *What are Spring and Neap tides?.* Diakses 22 Januari, 2020. :https://tides.gc.ca/eng/info/faq.

Fu, L. L., dan Cazenave, A. 2001. Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications. London: Academic.

Gumelar, Jaka, Bandi Sasmito, dan Fauzi Janu Amarrohman. 2016. "Analisis Harmonik dengan Menggunakan Teknik Kuadrat Terkecil untuk Penentuan Komponen-komponen Pasut di Wilayah Laut Selatan Pulau Jawa dari Satelit Altimetri TOPEX/POSEIDON dan JASON-1." *Geodesi Undip.*

Hadi, I Made S. 2016. *Analisis Perubahan Kondisi Pasang Surut Laut Dengan Menggunakan Model Pasang Surut Global Dan Regional (Studi Kasus Di Perairan Selatan Jawa, Indonesia).* Yogyakarta: UGM.

Lyard, F F, T Lefevre, Letellier, dan O Francis. 2006. "Modelling The Global Ocean Tides: a Modern Insight from FES2004." *Ocean Dynamics 56* 394 -415.

Marpaung, Mutiara. 2018. *Analisis Kesesuaian Global Ocean Tide Model Di Perairan Indonesia.* Surabaya: ITS.

NASA. 2020. *Global Climate Change, Vital Signs of the Planet.* February 27. Diakses May 30, 2020. https://climate.nasa.gov/news/2948/milankovitch-orbital-cycles-and-their-role-in-earths-climate/.

NASA Observatory. 2000. *Milutin Milankovitch (1879-1958) Orbital Variations.* March 24. Diakses May 31, 2020. https://earthobservatory.nasa.gov/features/Milankovitch/milankovitch_2.php.

National Oceanography Centre (NOC) dan University of Liverpool. 2020. *National Tidal and Sea Level Facility.* Accessed Juni 6, 2020. https://www.ntslf.org/tgi/definitions.

NOAA. 2004. "Tides and Water Levels." *National Ocean Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce.* 12 2. Diakses August 21, 2019.

https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_tides/tides01_intro.html.

Ongkosongo. 1989. *Pasang Surut.* Jakarta: LIPI.

P, Runiawan Onny, Kamija, A Rita K, dan Jazim Aziz Mustikawan. 2015. "Pemanfaatan Software Tidal Model Driver untuk Memprediksi Pasang Surut (Studi Kasus Perairan Pondok Dayung, Sungai Barito, dan Perairan Pulau Batek)." *Hidropilar* 35-43.

Poerbandono, dan Eka Djunarsjah. 2005. *Survey Hidrografi.* Bandung: Refika Aditama.

Pomerantz, Celeste, dan Jason Donev. 2017. *Energy Education--Milankovitch cycle.* August 29. Diakses June 23, 2020. https://energyeducation.ca/encyclopedia/Milankovitch_cycle.

Prasetyo, Agus Ari, Ahmad Zakaria, dan Margareta Welly. 2016. "Analisa Kesalahan Pemodelan Data Pasang Surut Stasiun Tanjung Priok." JRSDD 423 -434.

Pugh, D T. 2001. "Tides." 1st edition of Encyclopedia of Ocean Sciences 2961-2968.

Riduwan, dan Sunarto. 2011. *Pengantar Statistika: Untuk Penelitian Pendidikan, Sosial, Ekonomi, Komunikasi, dan Bisnis.* Bandung: Alfabeta.

Safi'i, Ayu Nur, Agung Syetiawan, Hollanda Arief Kusuma, Yustisi A. Lumban Gaol, Aninda W Rudiastuti, dan Nadya Oktaviani. 2018. "Optimalisasi Data Satelit Altimetri untuk Menghitung Konstanta Harmonik Pasang Surut." *Seminar Nasional Geomatika.*

Seifi, Fardin, Xiaoli Deng, dan Ole Baltazar Andersen. 2019. "Assessment of the Accuracy of Recent Empirical and Assimilated Tidal Models for the Great Barrier Reef, Australia, Using Satellite and Coastal Data." *Remote Sensing.*

Sepriando, Alpon, dan Rena Trisantikawaty. 2016. "Pengolahan Data Radar Cuaca Format NetCDF Menggunakan Bahasa Program Python." *Prosiding Workshop Operasional Radar Cuaca.* 29-33.

Sugianto, Denny Nugroho. 2009. "Kajian Kondisi Hidrodinamika (Pasang Surut, Arus, Dan Gelombang) Di Perairan Grati Pasuruan, Jawa Timur." *Ilmu Kelautan* 66-75.

Surinati, Dewi. 2017. "Pasang Surut dan Energinya." Oseana XXXII (1) 15-22.

Suyarso. 1989. "Muka Laut Rata-rata dan Aplikasinya Dalam Jaring Geodesi." *Asean-Australia Coorperative Programmes on Marine Science, Project I: Tides and Tidal Phenomena (O.S.R. Ongkosongo dan Suyarso eds.).* Puslitbang Oseanologi-LIPI. 192-200.

Syahputra, Hendry, dan R Bambang Adhitya. 2016. "Analisis Perbandingan Akurasi Model Prediksi Pasang Surut : Studi Kasus Di Selat Larantuka , Flores Timur , Nusa Tenggara Timur." *Maspari* 119-126.

Syahputra, Khariz. 2018. *Analisis Perbandingan Nilai Tinggi Muka Air Laut Menggunakan Global Positioning System (GPS) dan Co-tidal Chart di Perairan Laut Jawa.* Undergraduate Thesis, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember .

Taufik, Muhammad, dan Dika Ayu Safitri. 2014. "Determining Lat Using Tide Modeling TPXO IO (A Case Study: Fani Island) ." *International Conference Data Mining, Civil and Mechanical Engineering* . Bali.

Triatmodjo, Bambang. 2010. *Perencanaan Pelabuhan.* Yogyakarta : Beta Offset.

UCAR Community Programs. 2020. *Unidata Data Services and Tools for Geoscience.* Accessed 6 10, 2020. https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/.

Wardiyatmoko, K, dan R Bintarto H. 1994. *Geografi untuk SMU Kelas 1.* Jakarta: Erlangga.

Wirayuda, Agung. 2017. *Pasang Surut Air Laut Sebagai Metode Penentuan Awal Bulan Islam Menurut Jamaah An-Nadzir Kec. Bontomarannu Kab. Gowa Perspektif Ilmu Falak dan Oseanografi.* Undergraduate Thesis, Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Wyrtki, K. 1961. *Physical Oceanography of The Southeast Asian Waters.* Naga Report, California: The University of California Scripps Intitutions of Oceanography.

Yuliadi, Lintang Permata Sari. 2008. *Aplikasi Data Pasang Surut Real Time Dalam Penentuan Kedalaman Laut Aktual di Selat Malaka.* Magister Thesis, Depok: Universitas Indonesia.

Yuliandany, Eka, L M Sabri, dan Moehammad Awaluddin. 2020. "Analisis Peramalan Data Kosong Bulanan Pasang Surut Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) (Studi Kasus: Stasiun Pasut Surabaya)." *Geodesi Undip.*

Zahran, K H, G Jentzsch, dan G Seeber. 2006. "Accuracy Assessment of Ocean Tide Loading Computations for Precise Geodetic Obserrvations." *Journal of Geodynamics* 159-174.

LAMPIRAN

1. **DATA ELEVASI PASUT PENGAMATAN 5 STASIUN**

   Data pengamatan pasang surut pada 5 stasiun pasut terlampir pada *Compact Disc* (CD).

2. **DATA ELEVASI PASUT PREDIKSI BIG 5 STASIUN**

   Data prediksi BIG pada 5 stasiun pasut terlampir pada *Compact Disc* (CD).

3. **DATA ELEVASI PASUT PREDIKSI MODEL FES2014**

   Data prediksi model FES2014 pada 5 stasiun pasut terlampir pada *Compact Disc* (CD).

4. **DATA ELEVASI PASUT PREDIKSI MODEL TPXO9**

   Data prediksi model TPXO9 pada 5 stasiun pasut terlampir pada *Compact Disc* (CD).

5. *SCRIPT* PERHITUNGAN PREDIKSI PASANG SURUT

```
%PROGRAM PREDIKSI PASUT FES2014

clc
clear all
format short g

[KONSTITUEN]=textread('Bangkalan.txt','%f'
,'headerlines',1);      %Membaca      Kolom
Konstituen

Z=KONSTITUEN; %urutannya [M2 S2 K1 O1 Q1 N2
K2 P1 M4]

n=0;
n2=381;
t=n+1:n2;

W=[(2*pi)/12.4206            (2*pi)/12.0000
(2*pi)/23.9344               (2*pi)/25.8194
(2*pi)/26.8700               (2*pi)/12.6584
(2*pi)/11.9673               (2*pi)/24.0658
(2*pi)/6.2102];

%Mengitung Prediksi
for j=1:381
hT(j)=
Z(1)+((Z(2)*(cos(W(1)*t(j))*cos(Z(3))+(sin
(W(1)*t(j))*sin(Z(3)))))+(Z(4)*(cos(W(2)*t
(j))*cos(Z(5))+(sin(W(2)*t(j))*sin(Z(5))))
)+(Z(6)*(cos(W(3)*t(j))*cos(Z(7))+(sin(W(3
)*t(j))*sin(Z(7)))))+(Z(8)*(cos(W(4)*t(j))
*cos(Z(9))+(sin(W(4)*t(j))*sin(Z(9)))))+(Z
(10)*(cos(W(5)*t(j))*cos(Z(11))+(sin(W(5)*
t(j))*sin(Z(11)))))+(Z(12)*(cos(W(6)*t(j))
```

```
*cos(Z(13))+(sin(W(6)*t(j))*sin(Z(13)))))+
(Z(14)*(cos(W(7)*t(j))*cos(Z(15))+(sin(W(7
)*t(j))*sin(Z(15)))))+(Z(16)*(cos(W(8)*t(j
))*cos(Z(17))+(sin(W(8)*t(j))*sin(Z(17))))
)+(Z(18)*(cos(W(9)*t(j))*cos(Z(19))+(sin(W
(9)*t(j))*sin(Z(19))))))
end

%Plot Prediksi Pasut
figure
hold on
plot(hT,'g')
title('Grafik Pasang Surut Stasiun
Bangkalan')
h=legend('Prediksi Surabaya 2020')
xlabel('Data ke-'), ylabel('Elevasi(m)')
```

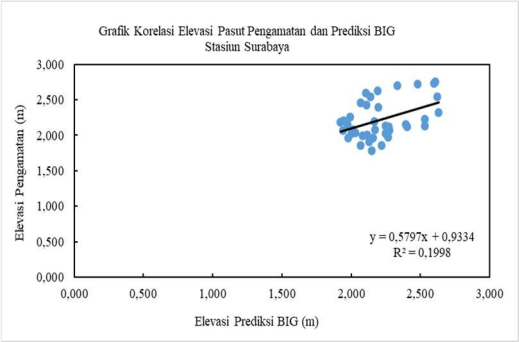
6. *SCRIPT* PERHITUNGAN *CHART DATUM*

```
%PROGRAM PENENTUAN KONTITUEN DAN DATUM
VERTIKAL

clc
clear all
format short g

%Membaca Data Pengamatan Pasang Surut

[HARI JAM MENIT DETIK
ELEVASI]=textread('GGTPXO92.txt','%f %f %f
%f %f','headerlines',1);

n=length(JAM);
t=0:n-1;
Y=ELEVASI;

%Menyusun Matriks Frekuensi Konstituen
%[M2 S2 K1 O1 Q1 N2 K2 P1 M4]
```

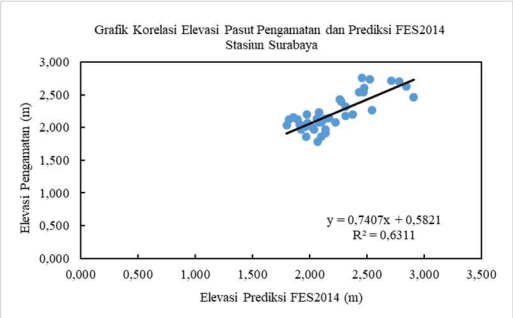
```
W=[(2*pi)/12.4206 (2*pi)/12.0000
(2*pi)/23.9344 (2*pi)/25.8194
(2*pi)/26.8700 (2*pi)/12.6584
(2*pi)/11.9673 (2*pi)/24.0658
(2*pi)/6.2102 ];
m=length(W);

%Menyusun Matriks Desain
X = ones(n,1);9
for i=1:m
    X=[X cos(W(i).*t)' sin(W(i).*t)'];
end

%Perhitungan Kuadrat Terkecil
Z=inv(X'*X)*(X'*Y);

%Amplitudo Konstituen
A_S0=Z(1)
A_M2=sqrt(Z(2)^2+Z(3)^2)
A_S2=sqrt(Z(4)^2+Z(5)^2)
A_K1=sqrt(Z(6)^2+Z(7)^2)
A_O1=sqrt(Z(8)^2+Z(9)^2)
A_Q1=sqrt(Z(10)^2+Z(11)^2)
A_N2=sqrt(Z(12)^2+Z(13)^2)
A_K2=sqrt(Z(14)^2+Z(15)^2)
A_P1=sqrt(Z(16)^2+Z(17)^2)
A_M4=sqrt(Z(18)^2+Z(19)^2)

%Fase Konstituen
Phs_M2=(atan2(Z(3),Z(2)))
Phs_S2=(atan2(Z(5),Z(4)))
Phs_K1=(atan2(Z(7),Z(6)))
Phs_O1=(atan2(Z(9),Z(8)))
Phs_Q1=(atan2(Z(11),Z(10)))
Phs_N2=(atan2(Z(13),Z(12)))
Phs_K2=(atan2(Z(15),Z(14)))
Phs_P1=(atan2(Z(17),Z(16)))
Phs_M4=(atan2(Z(19),Z(18)))
```

```
%Perhitungan Chart Datum
MSL=A_S0;
HHWL=A_S0+(A_M2+A_S2+A_K1+A_O1+A_K2+A_P1);
LLWL=A_S0-(A_M2+A_S2+A_K1+A_O1+A_K2+A_P1);

disp(['MSL  ' num2str(MSL) ' m'])
disp(['HHWL  ' num2str(HHWL) ' m'])
disp(['LLWL  ' num2str(LLWL) ' m'])

%Perhitungan Tipe Pasut
F=(A_K1+A_O1)/(A_M2+A_S2);

if F>0 && F<0.25
    disp('Tipe Pasut Semidiurnal')
elseif F>0.25 && F<1.5
    disp('Tipe Pasut Mixed Semidiurnal')
elseif F>1.5 && F<3
    disp('Tipe Mixed Diurnal')
elseif F>3
    disp('Tipe Pasut Diurnal')
end
```

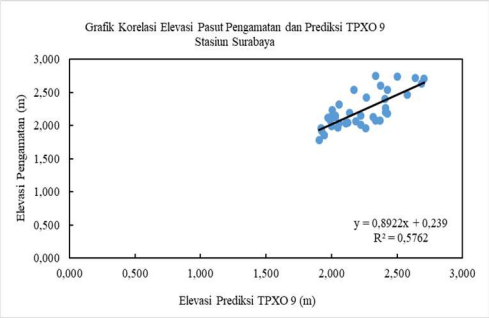
7. GRAFIK KOEFISIEN KORELASI



(a) Nilai korelasi: 0,447

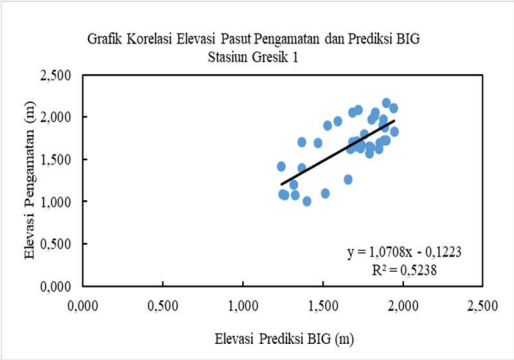


(b) Nilai korelasi: 0,794

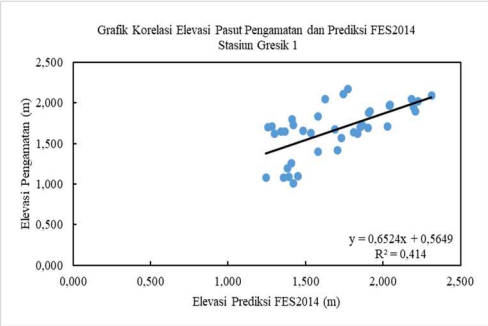


(c) Nilai korelasi: 0,759

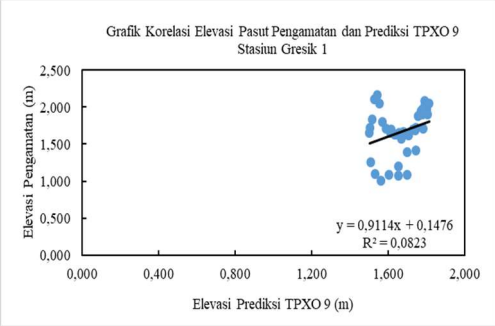
Gambar 1. Grafik Koefisien Korelasi Stasiun Surabaya (a) Prediksi BIG (b) FES2014 (c) TPXO9



(a) Nilai korelasi: 0,724

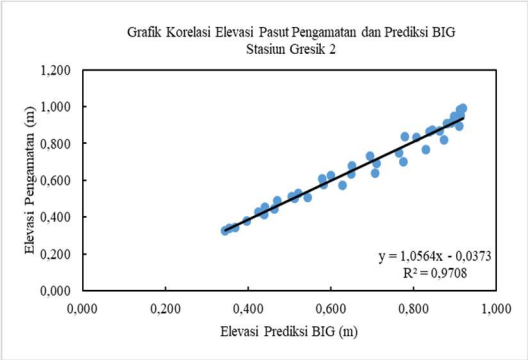


(b) Nilai korelasi: 0,643

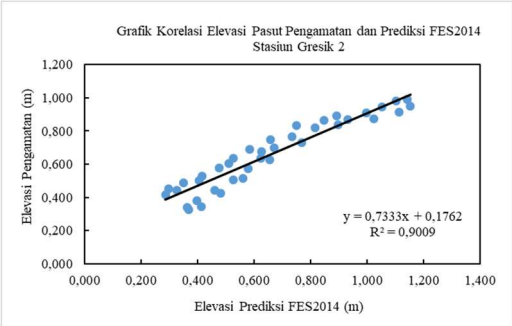


(c) Nilai korelasi: 0,287

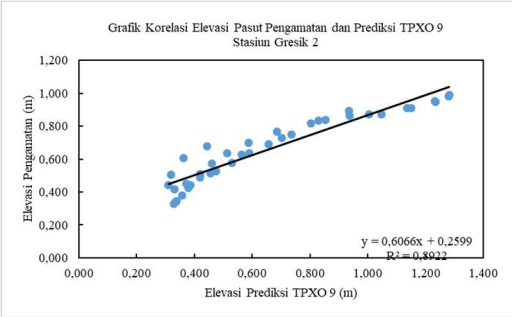
Gambar 2. Grafik Koefisien Korelasi Stasiun Gresik 1 (a) Prediksi BIG (b) FES2014 (c) TPXO9



(a) Nilai korelasi: 0,985

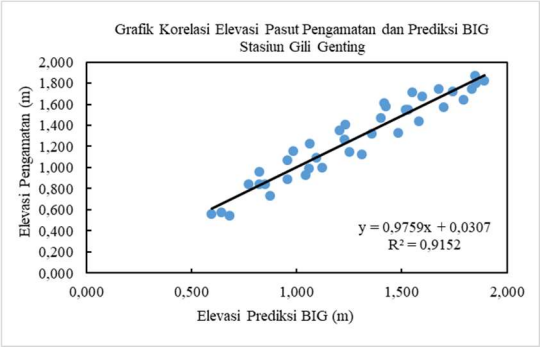


(b) Nilai korelasi: 0,949

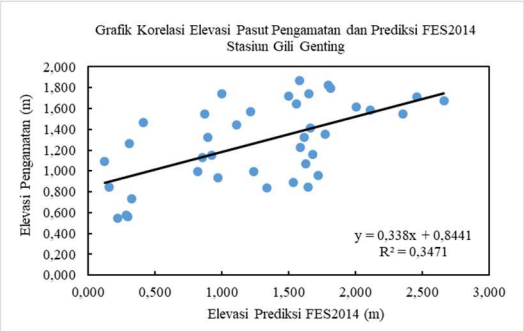


(c) Nilai korelasi: 0,945

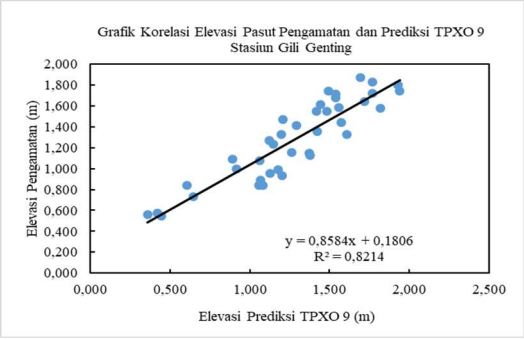
Gambar 3. Grafik Koefisien Korelasi Stasiun Gresik 2 (a) Prediksi BIG (b) FES2014 (c) TPXO9



(a) Nilai korelasi: 0,957

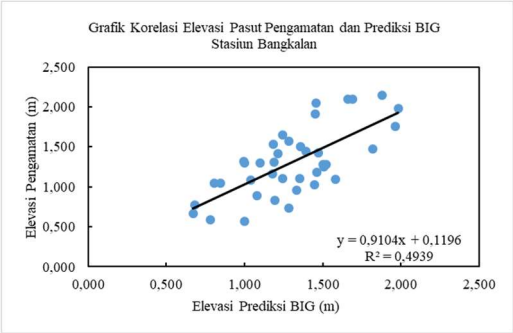


(b) Nilai korelasi: 0,589

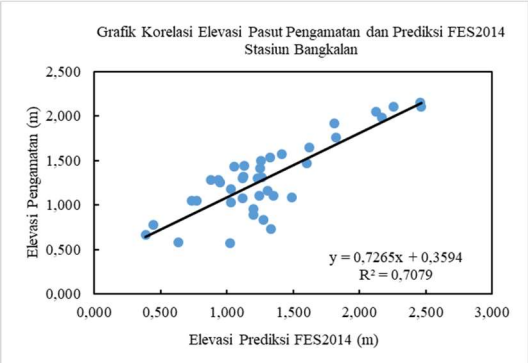


(c) Nilai korelasi: 0,906

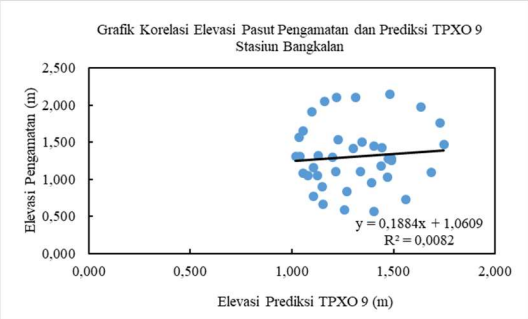
Gambar 4. Grafik Koefisien Korelasi Stasiun Gili Genting (a) Prediksi BIG (b) FES2014 (c) TPXO9



(a) Nilai korelasi: 0,703



(b) Nilai korelasi: 0,841



(c) Nilai korelasi: 0,091

Gambar 5. Grafik Koefisien Korelasi Stasiun Bangkalan (a) Prediksi BIG (b) FES2014 (c) TPXO9

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Kabupaten Purworejo, 6 April 1998, merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Mekar Sari, SDN Kendangsari V Surabaya, SMPN 13 Surabaya, dan SMAN 16 Surabaya. Setelah lulus SMA pada tahun 2016, penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Geomatika FTSPK-ITS melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, pada tahun pertama penulis aktif mengikuti dan menjadi anggota Unit Kegiatan Mahasiswa ITS *Foreign Language Society* (IFLS) yang ada di ITS. Pada tahun kedua hingga tahun ketiga, penulis aktif mengikuti organisasi kemahasiswaan dalam lingkup jurusan sebagai pengurus dari Himpunan Mahasiswa Geomatika ITS (HIMAGE-ITS) yaitu sebagai staff di Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMAGE-ITS tahun 2017/2018 dan Kabiro Pemetaan dan Pemantauan pada Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa HIMAGE-ITS tahun 2018/2019. Selama menjadi mahasiswa aktif, penulis juga aktif dalam bidang manajerial yaitu mengikuti kepanitiaan baik di tingkat departemen, fakultas, maupun institut. Pada tahun 2019, penulis melakukan Kerja Praktik di Badan Informasi Geospasial (BIG) yaitu di Bidang Pasang Surut Air Laut. Sebagai bentuk ketertarikan pada bidang kelautan khususnya pasang surut air laut, dalam pembuatan Tugas Akhir penulis memilih judul Tugas Akhir "Analisis Perbandingan Akurasi Model Pasang Surut Global (FES2014, TPXO9) dan Regional (Prediksi BIG) terhadap Kondisi Pasang Surut Eksisting di Perairan Surabaya dan Sekitarnya". Sebagai syarat dalam penyelesaian studi di jenjang Strata 1.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"