

Analisis Keandalan Rekonstruksi Tinggi Muka Air Hasil Analisis Harmonik, Analisis Wavelet Multiresolusi, dan *Hybrid* dalam Memodelkan Data Tinggi Muka Air (Studi Kasus: Stasiun Pasut Kolinlamil, Jakarta)

DONY HAASYA HAFIYYAN FAIKAR, NI MADE RAI RATIH CAHYA PERBANI

Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: doni.faikar@gmail.com

ABSTRAK

Data tinggi muka air di Stasiun Pasut Kolinlamil, Jakarta pada bulan Maret 2022 s.d Maret 2023 memiliki kekosongan data dan terjadi perubahan tunggang air. Informasi tinggi muka air dan prediksi yang akurat menjadi elemen kunci untuk keamanan navigasi laut dan operasi laut lainnya. Untuk itu diperlukan model tinggi muka air andal yang dapat menginformasikan unsur-unsur pembangun data, khususnya untuk di Stasiun Pasut Kolinlamil. Ukuran keandalan model tinggi muka air pada penelitian ini ditinjau dari nilai koefisien korelasi, hasil dekomposisi, dan hasil rekonstruksi. Dekomposisi tinggi muka air menggunakan metode analisis harmonis kuadrat terkecil berbasis discrete Fourier transform (DFT), analisis wavelet multiresolusi, dan hybrid. Data satu tahun yang digunakan dicuplik dengan selang waktu satu jam. Dari penelitian ini ditemukan bahwa model pasut yang melibatkan analisis wavelet multiresolusi (termasuk metode hybrid) dapat mewakili data dengan detail termasuk perubahan tunggang air yang terjadi, dengan koefisien korelasi sebesar 1 dan dari hasil rekonstruksi terlihat kemiripan yang sangat tinggi antara model dengan data. Namun, untuk dekomposisi gelombang-gelombang pasut dapat dianalisis dengan baik pada metode yang melibatkan analisis harmonis. Dengan demikian direkomendasikan untuk menggunakan metode hybrid yang dapat mengungkapkan dekomposisi gelombang-gelombang pasut dan merekonstruksi data dengan sangat baik.

Kata kunci : analisis harmonis, analisis wavelet multiresolusi, korelasi, rekonstruksi, dekomposisi

ABSTRACT

Water level data at Kolinlamil Sea Level Station, Jakarta in March 2022 to March 2023 had data gaps and changes in tidal range. Accurate water level information and predictions played an important role for the marine navigation safety and other operations. For this reason, a reliable water level model was needed that could inform the data reconstruction elements, especially for the Kolinlamil Station. The reliability of the water level model in this research was rated by the correlation coefficient, decomposition, and reconstruction results. Water level decomposition used discrete Fourier transform (DFT)-based least squares harmonic analysis, wavelet multiresolution analysis, and hybrid methods. The one-year data used was extracted with an interval of one hour. It was found that the tidal model involving wavelet multiresolution analysis (including the hybrid method) could represent the data in detail including the changes in tidal range, with a correlation coefficient of 1 and a high similarity between the model and the data from the reconstruction results. However, the decomposition of tidal constituents could be well analyzed by methods involving harmonic analysis. So, it was recommended to use a hybrid method that could decompose the tidal constituents and reconstruct the data in details.

Keywords : harmonic analysis, wavelet multiresolution analysis, correlation, decomposition, reconstruction

1. PENDAHULUAN

Tinggi muka air adalah ukuran ketinggian permukaan air di suatu lokasi yang biasanya diukur terhadap suatu titik referensi atau datum tertentu. Tinggi muka air dapat bervariasi bergantung pada berbagai faktor, seperti: curah hujan, pasang surut, debit sungai, dan sebagainya. Informasi ketinggian air laut dan prediksi yang akurat adalah elemen kunci untuk keamanan navigasi laut serta untuk operasi laut lainnya. Berbagai instansi termasuk militer membutuhkan informasi dan prakiraan pasang surut masa depan yang akurat untuk pengambilan keputusan dan kelancaran kegiatan administrasi di kawasan area pesisir (Liu dkk., 2019) Prediksi tinggi muka air laut secara konvensional dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode seperti analisis harmonik (Hou, 1992) dan model jaringan wavelet (El-Diasty dan Al-Harbi, 2015).

Metode kuadrat terkecil merupakan metode analisis harmonik yang menguraikan gelombang pasang surut menjadi beberapa komponen harmonik pasang surut di mana ketinggian muka air yang disebabkan oleh gelombang pasang surut merupakan hasil penjumlahan dari komponen-komponen gaya pembangkit pasang surut (Hasibuan dkk., 2015). Transformasi wavelet adalah fungsi transformasi yang digunakan untuk menguraikan data atau fungsi operator menjadi komponen frekuensi yang berbeda-beda dengan resolusi yang disesuaikan dengan skalanya (Darusalam, 2009).

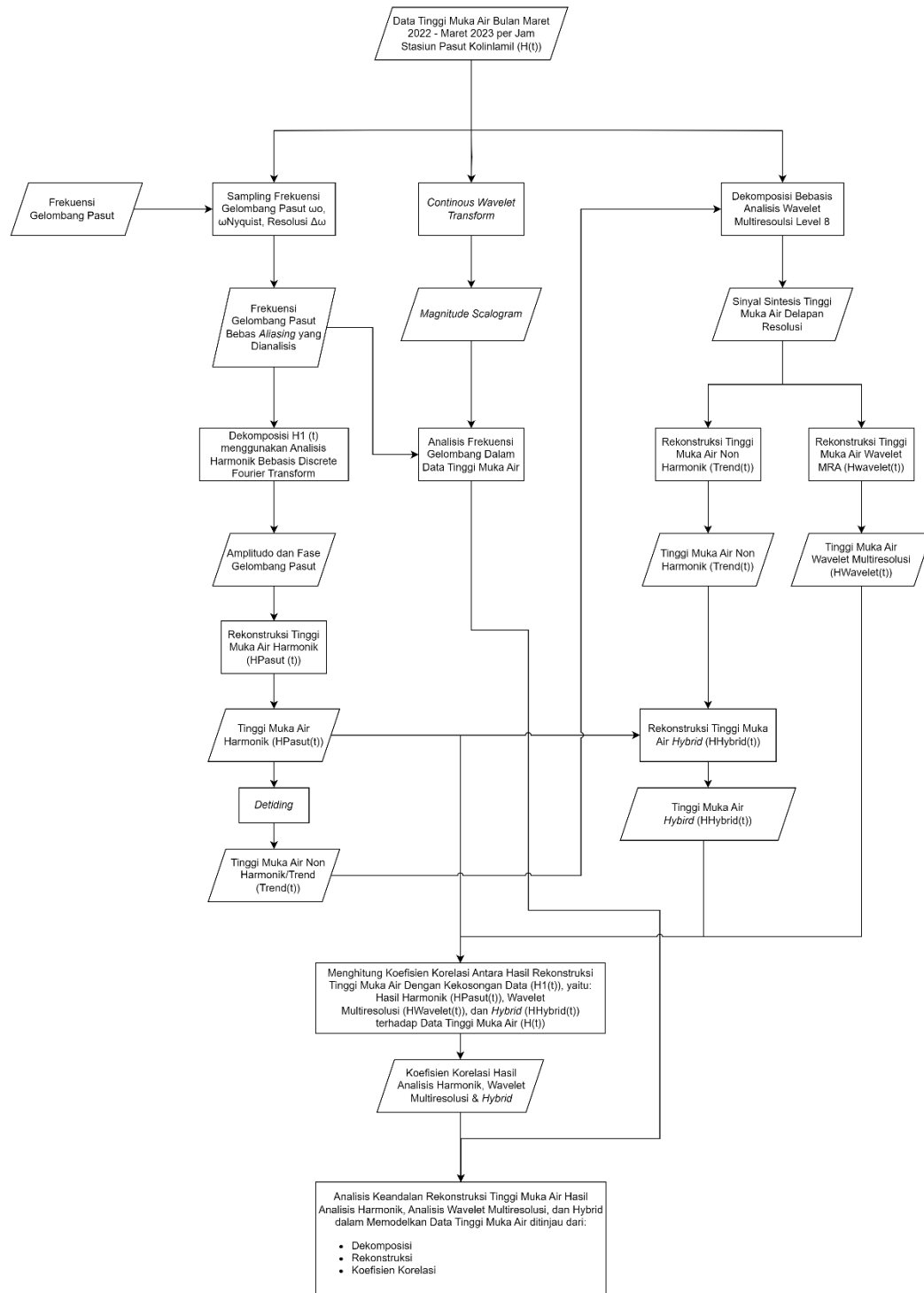
Stasiun Pasut Kolinlamil dipilih berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya di mana dalam Fahmi (2021) menyinggung mengenai karakteristik pasut beserta mean sea level (MSL) pada lokasi tersebut menggunakan analisis harmonik metode kuadrat terkecil.

Metode analisis harmonik hanya mempertimbangkan komponen-komponen pasut yang bersifat periodik saja. Metode ini akan memodelkan tinggi muka air dengan baik jika komponen-komponen nonharmonik tidak signifikan memengaruhi tinggi muka air. Untuk memodelkan tinggi muka air dengan akurat maka perlu dipertimbangkan semua komponen pembangun tinggi muka air baik oleh pasut maupun nonpasut (periodik maupun nonperiodik). Dalam penelitian ini akan dianalisis keandalan tiga metode, yaitu metode analisis harmonik, analisis wavelet multiresolusi, dan *hybrid* (di antara keduanya) dalam meninjau keandalan rekonstruksi tinggi muka air masing-masing model ditinjau dari koefisien korelasi, dekomposisi, dan rekonstruksi.

2. METODOLOGI

2.1 Metode

Pelaksanaan metode penelitian ini dilakukan dari persiapan, akuisisi data, sampling frekuensi: gelombang pasut ω_0 ; $\omega_{nyquist}$; resolusi $\delta\omega$, continuous wavelet transform, dekomposisi berbasis analisis wavelet multiresolusi level 8, dekomposisi $H1(t)$ menggunakan analisis harmonik berbasis discrete fourier transform, analisis frekuensi gelombang dalam data tinggi muka air, rekonstruksi tinggi muka air nonharmonik ($trend(t)$), rekonstruksi tinggi muka air wavelet ($hwavelet(t)$), rekonstruksi tinggi muka air harmonik ($h_{pasut}(t)$), rekonstruksi tinggi muka air hybrid analisa harmonik dan wavelet ($h_{hybrid}(t)$), detiding, menghitung koefisien korelasi antara hasil rekonstruksi tinggi muka air dengan kekosongan data ($h1(t)$), yaitu: hasil harmonik ($h_{pasut}(t)$); wavelet ($hwavelet(t)$); dan hybrid ($h_{hybrid}(t)$) terhadap data tinggi muka air ($h(t)$). Berikut ditampilkan diagram alur penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

2.2 Data dan Lokasi Penelitian

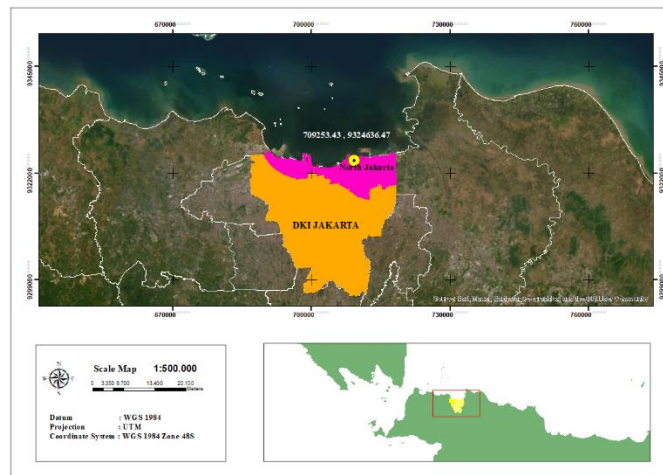
Data yang digunakan adalah data pasang surut stasiun pasut online dari Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), Stasiun Kolinlamil, Jakarta. Dengan rentang data dari Maret 2022–Maret 2023. Gambaran sampel data dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sampel Data Pasut IOC Kolinlamil, Jakarta

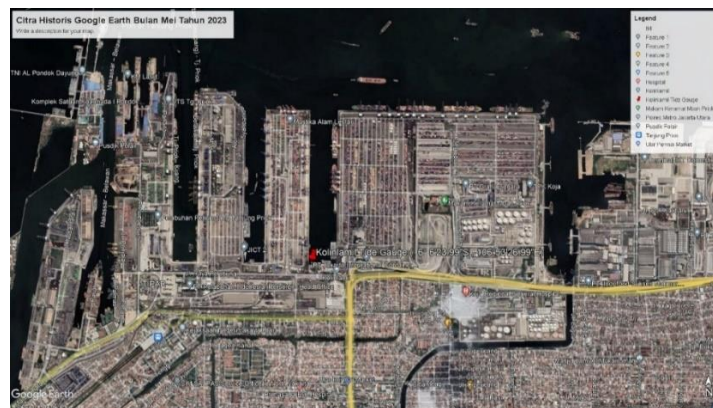
<i>Tide gauge at Kolinlamil, Jakarta Port</i>				
Time (UTC)	bat(V)	pr2(m)	prs(m)	rad(m)
01/03/2022 23:00		0.27	0.968	6.895
01/03/2022 23:01		0.247	0.984	6.895
01/03/2022 23:02	12.3	0.271	0.961	6.895
01/03/2022 23:03		0.269	0.969	6.898
01/03/2022 23:04		0.273	0.978	6.898
01/03/2022 23:05		0.257	0.974	6.899
01/03/2022 23:06		0.27	0.972	6.898
01/03/2022 23:07		0.253	0.971	6.904
01/03/2022 23:08		0.252	0.982	6.899
01/03/2022 23:09		0.258	0.981	6.9
01/03/2022 23:10		0.256	0.976	6.904
01/03/2022 23:11		0.256	0.995	6.911
01/03/2022 23:12		0.279	0.988	6.92
01/03/2022 23:14		0.285	1.005	6.927

Data pasang surut yang didapatkan berasal dari stasiun online Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) dengan mengunduh melalui salah satu servernya yang menghimpun dan menyediakan data pasang surut seluruh wilayah (terdaftar) di Bumi. Data diperoleh pada laman <https://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=koli>. Dalam laman tersebut data pasang surut yang di akses adalah data pasang surut pada stasiun pasut Kolinlamil, Jakarta. Dengan data yang akan digunakan adalah data kurun waktu selama satu tahun, terhitung dari bulan Maret 2022–Maret 2023.

Lokasi penelitian ini berada di pantai utara, tepatnya di stasiun pasut Kolinlamil, Jakarta Utara dengan posisi geografis -6.10667 LS 106.89083 BT. Peta dan kenampakan lokasi dapat dilihat pada Gambar 2 s.d. 3.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian



Gambar 3. Citra Lokasi Penelitian

2.3 Pengolahan Data

Data pasut yang diperoleh dari laman IOC masih dalam bentuk data asli, dimana masih perlu disesuaikan dengan keperluan pengolahan data. Pada pengolahan ini digunakan perangkat lunak Microsoft Excel (2019) yang nantinya data pasang surut siap untuk diolah dengan beberapa metode yang digunakan pada penelitian ini.

Tahapan selanjutnya seperti pada pengolahan data pasang surut umumnya, data pasut diolah menjadi sistem *Julian date*. *Julian date* adalah sistem penomoran hari yang berurutan dan tidak ambigu. *Julian date* merupakan sistem penanggalan yang digunakan dalam astronomi dan ilmu terkait. Dalam konteks pengamatan pasut, *julian date* menyediakan cara yang konsisten untuk merekam dan membandingkan data pasut dari berbagai sumber.

Pengolahan data pasang surut dalam analisis harmonik dilakukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil. Data pasang surut yang sudah di sesuaikan dengan Julian Date selanjutnya diolah dalam analisis harmonik dengan tujuan untuk mendapatkan model pasang surut harmonik, amplitudo, dan fase konstanta harmonik pembentuk pasang surut dari data pasang surut. Batasan frekuensi dan resolusi spektral digunakan untuk membatasi gelombang dalam frekuensi tertentu, agar dalam pengolahan analisis harmonik tidak terjadi gelombang yang aliasing (mirip).

Dengan batasan konstanta gelombang yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari 4 jenis gelombang dari 17 konstanta gelombang. Ditunjukkan seperti yang ada dalam Tabel 2.

Tabel 2. Konstanta Gelombang Pasut

Jenis Konstanta Gelombang Pasang Surut		
Jenis	Konstanta	w(rad/jam)
Semidiurnal	M2	0,5058680
	S2	0,5235988
	N2	0,4963664
	K2	0,5250317
Diurnal	K1	0,2625167
	O1	0,2433513
	P1	0,2610821
	Q1	0,2338514
Long Period	Mf	0,0191637
	Mm	0,009494591
	Ssa	0,00143117
	Sa	0,00071733
	MSf	0,01773079987
	MSm	0,008229227
Shallow Water	M4	1,011735951
	MS4	1,029466751
	S4	1,0471976

Pada Tabel 2 konstanta gelombang pasut memiliki satuan dalam kecepatan sudut. Diperlukan konversi satuan konstanta gelombang pasut kedalam bentuk periode dan frekuensi, untuk memudahkan analisa dekomposisi gelombang pasut. Untuk mengetahui frekuensi dari gelombang pasut diperlukan periode waktu yang memiliki satuan detik, maka periode waktu dalam satuan jam diubah terlebih dahulu menjadi satuan detik. Frekuensi diukur dalam siklus per detik, yang disebut hertz (Hz). Diperlukan frekuensi dalam siklus per hari untuk memvisualisasikan dekomposisi gelombang pasut, maka frekuensi dalam satuan Hz diubah menjadi satuan μHz . Hasil periode dan frekuensi konstanta gelombang pasut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Periode dan Frekuensi Konstanta Gelombang Pasut

Jenis	Konstanta	w(rad/jam)	Periode (Jam)	Periode (detik)	Frekuensi (Hz)	Frekuensi (μHz)
Semidiurnal	M2	0,50587	12,421	44714,17	0,000022364	22,36
	S2	0,52360	12,000	43,00	0,000023148	23,15
	N2	0,49637	12,658	45570,1	0,000021944	21,94
	K2	0,52503	11,967	43082,1	0,000023211	23,21
Diurnal	K1	0,26252	23,934	86163,91	0,000011606	11,61
	O1	0,24335	25,819	92949,87	0,000010758	10,76
	P1	0,26108	24,066	86637,39	0,000011542	11,54
	Q1	0,23385	26,868	96725,8	0,000010339	10,34
Long Period	Mf	0,01916	327,869	1180328	0,000000847	0,85
	Mm	0,00949	661,765	2382353	0,000000420	0,42
	Ssa	0,00143	4390,244	15804878	0,000000063	0,06
	Sa	0,00072	8759,124	31532847	0,000000032	0,03
	MSf	0,01773	354,366	1275716	0,000000784	0,78
	MSm	0,00823	763,521	2748674	0,000000364	0,36
Shallow Water	M4	1,01174	6,210	22357,09	0,000044729	44,73
	MS4	1,02947	6,103	21972,02	0,000045512	45,51
	S4	1,04720	6,000	21600	0,000046296	46,30

Pengolahan data pasang surut dalam analisis wavelet multiresolusi, data pasang surut secara langsung dioalah menggunakan analisis wavelet multiresolusi tanpa diperlukan konversi *julian date* terlebih dahulu, dengan tujuan untuk mendapatkan waktu simetris pasang surut analisis wavelet multiresolusi dari data pasang surut Maret 2022–Maret 2023.

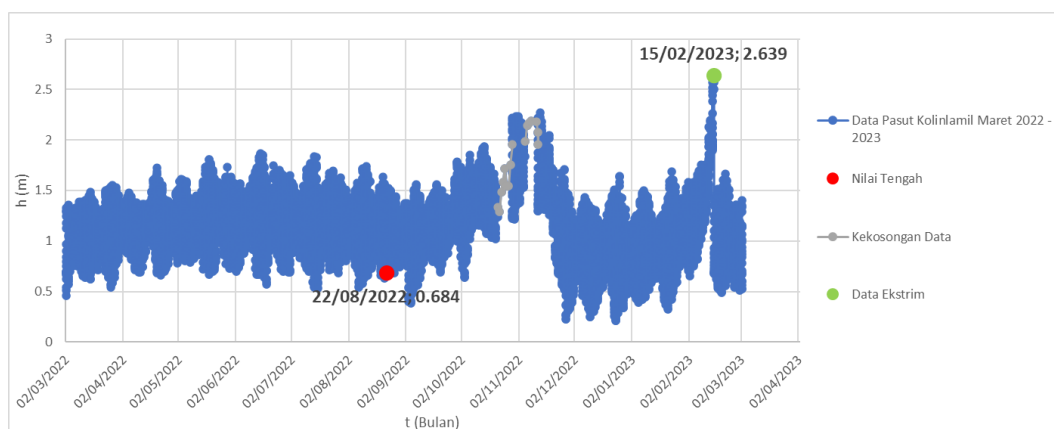
Pengolahan data pasang surut metode analisis wavelet multiresolusi menggunakan suatu perangkat lunak yaitu, Mathworks R2023a Matlab yang tersedia online maupun offline. Pada Matlab ini sudah tersedia package yang bisa digunakan dalam perangkat tersebut untuk mengolah data pasang surut. Seperti pada tahap pengolahan menggunakan analisis metode harmonik, koefisien korelasi dibutuhkan untuk mengetahui tingkat hubungan antar kedua variabel bebas, variabel yang digunakan yaitu data pasut IOC dan model pasut dalam metode wavelet dengan menggunakan persamaan koefisien korelasi pearson.

Pengolahan data pasang surut yang selanjutnya adalah perpaduan dari kedua metode sebelumnya, disebut dengan metode *Hybrid*. Metode ini dilakukan dalam penelitian ini, dengan tujuan untuk mendapatkan amplitudo, fase konstanta harmonik pembentuk pasang surut, dan mendapatkan model pasang surut yang diharapkan mendekati data asli pasang surut Maret 2022–Maret 2023.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Data Pasang Surut

Adapun merupakan visualiasi data pasang surut ditunjukkan dalam grafik seperti yang ada pada Gambar 4 di bawah ini:

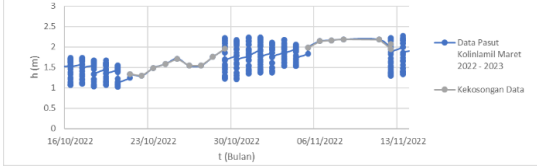
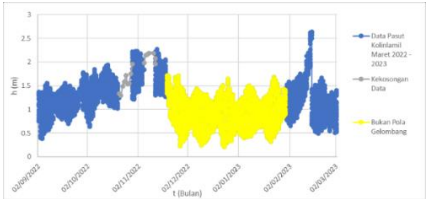


Gambar 4. Grafik Data Pasut Kolinlamil Maret 2022–2023

Visualisasi data pasut pada Gambar 4 merupakan data pasang surut stasiun pasut online dari IOC (2023) yang berlokasi di Stasiun Kolinlamil, Jakarta. Data ini memiliki rentang data dari Maret 2022–Maret 2023 yang dicuplik dengan selang data dalam satu jam. Data pasut yang diperoleh memiliki selang varian waktu yang terdapat kekosongan data, di mana pada tanggal 21–29 Oktober 2022 dan 5–11 November 2022 memiliki selang waktu dalam fraksi hari sehingga menjadi kondisi kekosongan data karena data yang dianalisis dalam selang waktu satu jam. Dari faktual data pasut IOC yang diakuisisi bukan hanya terdapat kekosongan data, tetapi terdapat juga lonjakan puncak gelombang ekstrem pada data yang terjadi pada tanggal 15 Februari 2022 dengan ketinggian muka air mencapai 2,639 meter. Kemudian dapat dilihat ada data yang tidak berpola gelombang yang terjadi pada bulan 18 November 2022–30 Januari 2023. Di samping itu, terlihat pula adanya perubahan range mulai dari bulan

Desember 2022. Anomali yang terjadi pada data pasut Stasiun Kolinlamil Maret 2022–Maret 2023 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Anomali yang Terjadi pada Data Pasut Stasiun Kolinlamil Maret 2022–Maret 2023

Anomali	Keterangan
Kekosongan Data 21/10/2022–29/10/2022 05/11/2022–11/11/2022	
Lonjakan Puncak Gelombang Ekstrem 15 Februari 2023 (23:00)	
Anomali	Keterangan
Bukan Pola Gelombang 18 November 2022–30 Januari 2023	

Data pasut Stasiun Kolinlamil dengan panjang data setahun dari Maret 2022–Maret 2023 memiliki anomali seperti yang dijelaskan di Tabel 4, perlu dilakukan studi analisis keandalan rekonstruksi tinggi muka air guna dapat memodelkan tinggi muka air yang andal sehingga nantinya dapat menentukan prediksi tinggi muka air yang akurat. Dalam penelitian ini dilakukan tiga metode analisis untuk memodelkan tinggi muka air, yaitu: analisis harmonik, analisis multiresolusi wavelet, dan analisis hybrid (gabungan analisis harmonik dan multiresolusi wavelet). Untuk menguji keandalan ketiga metode tersebut dalam memodelkan data pasang surut ditinjau dari dekomposisi, rekonstruksi, dan koefisien korelasinya.

3.2 Analisis Harmonik

Data pasut Stasiun Kolinlamil yang digunakan pada penelitian ini memiliki panjang data setahun dengan selang data satu jam. Batasan frekuensi dan resolusi spektral gelombang berdasarkan data dari Maret 2022–Maret 2023 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Batasan Frekuensi dan Resolusi Spektral Gelombang Pasut

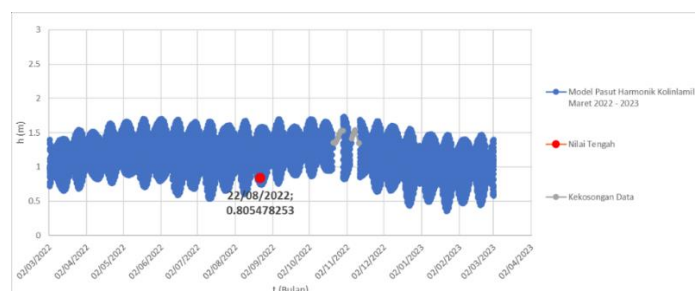
Batasan Frekuensi:		
$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{8323} =$	0.000754918	rad/jam
$\omega_n = \frac{\pi}{\Delta t} = \frac{\pi}{1} =$	3.141592654	
Resolusi Spektral:		
$\Delta\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{8323} =$	0.000754918	rad/jam

Gelombang-gelombang pasut yang dianalisis dalam penelitian yang termasuk dalam batasan frekuensi dan tidak aliasing berdasarkan resolusi spektralnya, terdiri atas 17 gelombang di mana frekuensi-frekuensi gelombangnya sudah tertentu. Dari analisis harmonik ini gelombang-gelombang pasut didekomposisi dari data pasut menjadi amplitudo dan fase dari ke-17 gelombang pasut seperti yang dapat dilihat pada Tabel 6.

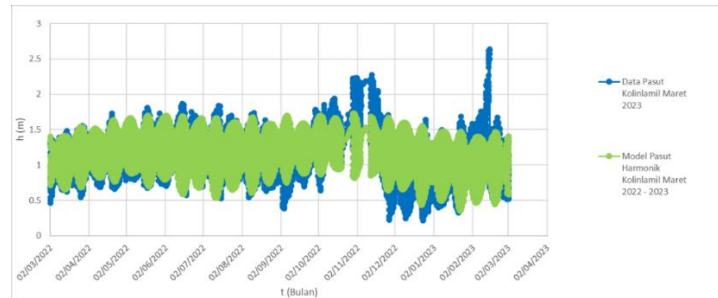
Tabel 6. Dekomposisi Gelombang Pasut dari Data Pasut Kolinlamil

No.	Konstanta	ω (rad/jam)	Amp (m)	ϕ (rad)	ϕ (derajat)	Kwadrant	ϕ (derajat)
1	M2	0,50586798	0,06257	0,204968886	11,7439	I	11,7438521
2	S2	0,52359878	0,04793	1,35931796	77,8832	I	77,8831821
3	N2	0,4963664	0,01416	0,740374443	42,4203	II	137,579669
4	K2	0,52503169	0,02149	1,093358782	62,6448	II	117,355156
5	K1	0,26251672	0,28212	0,390775883	22,3898	II	157,610191
6	O1	0,24335126	0,14961	0,937354127	53,7064	II	126,293565
7	P1	0,26108206	0,06849	1,510820954	86,5637	IV	273,436336
8	Q1	0,23385143	0,03697	1,41673242	81,1728	IV	278,827212
9	Mf	0,01916372	0,0111	0,530396427	30,3895	II	149,610523
10	Mm	0,00949459	0,02001	0,960202617	55,0156	I	55,0155575
11	Ssa	0,00143117	0,10654	1,03815692	59,482	II	120,51799
12	Sa	0,00071733	0,10074	0,123027797	7,04897	IV	352,951026
13	MSf	0,0177308	0,04179	1,434044819	82,1647	IV	277,835284
14	MSm	0,00822923	0,02529	0,294866635	16,8946	II	163,105386
15	M4	1,01173595	0,00546	0,442990966	25,3815	III	205,381513
16	MS4	1,02946675	0,00508	0,290649455	16,653	I	16,6529871
17	S4	1,04719755	0,00353	1,484419364	85,051	I	85,0509646

Rekonstruksi adalah proses membangun kembali atau merekonstruksi bentuk atau keadaan benda atau sistem fisik yang tidak lengkap atau terdistorsi berdasarkan data pengamatan atau bukti yang tersedia. Untuk merekonstruksi tinggi muka air dari hasil dekomposisi analisis harmonik pada Tabel 6 dengan menggunakan fungsi gelombang. Hasil rekonstruksi tinggi muka air yang dibangun oleh gelombang-gelombang yang dapat dianalisis dapat dilihat pada Gambar 5 sedangkan perbandingan antara data dan model pasut hasil rekonstruksi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Grafik Model Harmonik Pasut Kolinlamil Maret 2022–2023

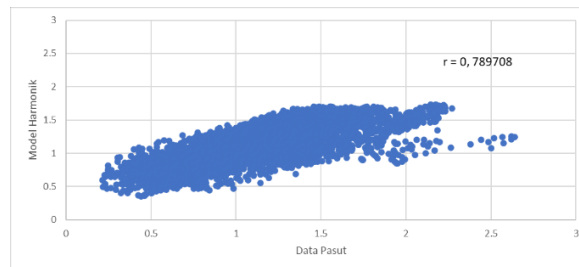


Gambar 6. Perbandingan Rekonstruksi Model Harmonik & Data Pasut Kolinlami

Secara garis besar metode harmonik sudah dapat mewakili data pasang surut. Namun, pada metode ini dapat dilihat seperti yang ada pada Gambar 5 metode analisis harmonik hanya dapat merekonstruksi model data pasang surut berdasarkan pengaruh harmonik saja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, sehingga pengaruh nonharmonik yang ada pada data pasang surut tidak dapat direkonstruksi. Analisis harmonik didasarkan pada asumsi bahwa data dapat diurai menjadi komponen harmonik dengan amplitudo dan frekuensi yang terdefinisi. Asumsi ini memudahkan perhitungan dan memungkinkan analisis yang lebih sederhana dan terpusat pada komponen harmonik yang teratur.

Berdasarkan anomali pada Tabel 4 metode analisis harmonik tidak dapat merekonstruksi model dalam lonjakan puncak gelombang ekstrem yang terjadi. Dibuktikan pada Gambar 6 metode analisis harmonik mengabaikan anomali lonjakan puncak gelombang ekstrem yang terjadi. Tetapi pada anomali bukan pola gelombang, metode analisis harmonik dapat merekonstruksi model menjadi pola gelombang yang seharusnya.

Gambaran mengenai korelasi antara data dan model pasut yang direkonstruksi dari gelombang-gelombang analisis harmonik dapat dilihat pada Gambar 7.



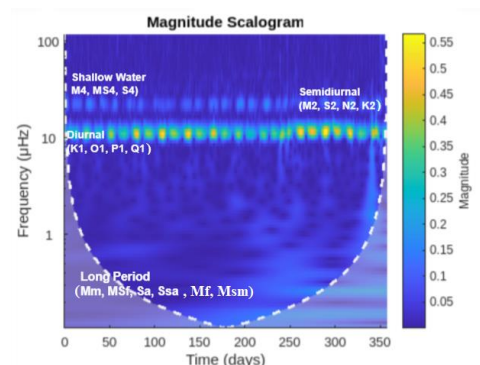
Gambar 7. Grafik Korelasi Data & Model Harmonik Pasut

Ditinjau dari koefisien korelasi metode analisis harmonik memiliki koefisien korelasi dalam interval yang kuat dengan nilai koefisien korelasi 0,789708 (Sugiyono, 2017). Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 7 yang dibuat dalam bentuk grafik menunjukkan hubungan antara data dengan model harmonik pasang surut membentuk linear positif. Jadi antara data dan model memenuhi sifat linearitas dengan memiliki kecenderungan ke arah yang positif.

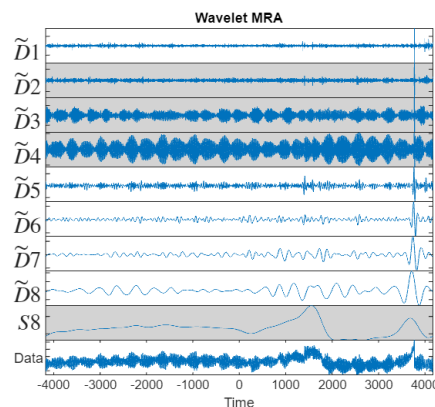
Model analisis harmonik dapat dianggap sebagai model yang paling dapat diandalkan untuk prediksi muka air laut jangka panjang ketika catatan data yang sangat panjang tersedia (el-Diasty, 2018). Sesuai pernyataan tersebut, metode analisis harmonik pada penelitian ini memiliki kelayakan untuk dapat mewakili data pasang surut sebagai model untuk prediksi pasang surut karena memiliki rentang data yang panjang. Selain itu, analisis harmonik memiliki dasar matematis yang kuat dan menjadi metode yang efektif dalam memodelkan data periodik.

3.3 Analisis Wavelet Multiresolusi

Transformasi wavelet diskret digunakan untuk menyajikan hubungan antara analisis multiresolusi dan wavelet untuk menunjukkan amplitudo harmonik dan sudut fase sebagai jumlah fungsi pergeseran dan penskalaan. Koefisien fungsi pergeseran dan dilatasi digunakan untuk mendapatkan konstituen harmonik (amplitudo dan sudut fase) dari permukaan air laut (Abubakar, 2021). Melalui transformasi wavelet dapat diketahui informasi frekuensi dan waktu dari sebuah sinyal secara bersamaan (Laura, 2011). Scalogram dari hasil continuous wavelet transform (CWT) dapat dilihat pada Gambar 8 dan sinyal sintesis wavelet tinggi muka air delapan resolusi dapat dilihat pada Gambar 9.



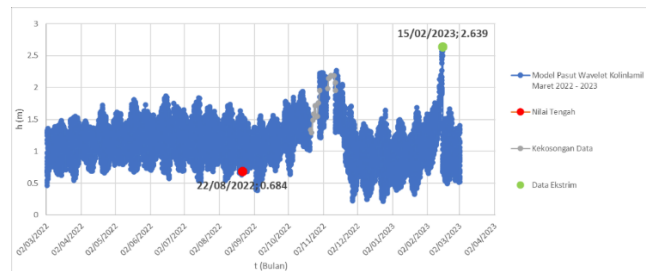
Gambar 8. Magnitud Scalogram Analisis Multiresolusi Wavelet



Gambar 9. Sinyal Sintesis Wavelet Tinggi Muka Air Delapan Resolusi

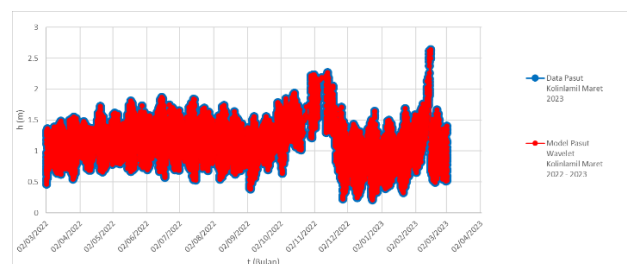
Dengan melihat hasil dekomposisi analisis multiresolusi wavelet cukup sulit untuk mendeteksi 17 gelombang pasut yang didekomposisi di analisis harmonik. Dari analisis harmonik diperoleh bahwa gelombang dominan yang memiliki amplitudo paling besar adalah K1 sebesar 0,28 meter dan O1 sebesar 0,15 meter. Dari hasil analisis multiresolusi wavelet ditemukan energi gelombang lebih besar dari yang diinformasikan analisis harmonik. Terjadi gelombang dengan amplitudo lebih dari 0,28 meter, terdeteksi sampai 0,55 meter seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 Energi yang besar ini terlihat pada magnitud scalogram terjadi pada waktu-waktu terakhir data. Gelombang dengan amplitudo sebesar 0,3 dan 0,15 meter terlihat terjadi di sepanjang data. Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa gelombang frekuensi tinggi yang memiliki pola harmonis terjadi dari level D1 s.d. D5. Di level keempat amplitudo mendominasi level yang lain. Di level ini terlihat terjadi perubahan range pada data dimulai dari waktu terjadi lonjakan seperti yang ditunjukkan pada S8. Range menjadi lebih besar. Di seluruh level terjadi lonjakan kejutan di waktu setelah puncak kedua di S8.

Adapun merupakan visualiasi rekonstruksi model pasang surut metode analisis harmonik ditunjukkan dalam grafik seperti yang ada pada Gambar 10 di bawah ini:



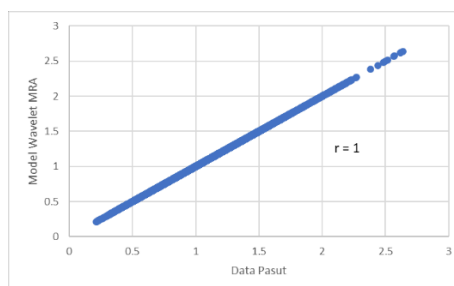
Gambar 10. Grafik Model Wavelet Multiresolusi Pasut Kolinlamil Maret 2022–2023

Keunggulan metode wavelet multiresolusi ini adalah informasi tentang gelombang pasang surut dapat ditemukan pada berbagai skala spasial atau temporal. Metode wavelet multiresolusi memungkinkan analisis pada skala yang berbeda, mulai dari skala kasar hingga skala detail. Kemudian gelombang pasang surut terdiri dari komponen frekuensi yang berbeda, yang dapat mencakup periode jangka panjang hingga jangka pendek. Metode wavelet multiresolusi memungkinkan deteksi dan pemisahan komponen frekuensi yang berbeda dalam gelombang pasang surut. Gambar 11 di bawah ini merupakan visualiasi perbandingan antara data dan model pasang surut metode analisis harmonik.



Gambar 11. Perbandingan Rekonstruksi Model Wavelet & Data Pasut Kolinlamil

Dilihat pada Gambar 11 model analisis wavelet dapat merekonstruksi model tinggi muka air yang serupa dengan data asli. Metode wavelet multiresolusi ini bukan hanya mempertimbangkan pengaruh harmonik pasang surutnya saja, tetapi pengaruh nonharmonik yang ada pada data juga dapat direkonstruksi. Analisis wavelet multiresolusi didasarkan pada asumsi bahwa metode ini dapat menguraikan gelombang pasang surut menjadi komponen-komponen frekuensi yang berbeda pada skala yang berbeda. Ini memungkinkan analisis yang lebih terperinci dan pemodelan yang lebih baik. Adapun merupakan visualiasi koefisien korelasi antara data model pasang surut metode analisis harmonik ditunjukkan dalam grafik seperti yang ada pada Gambar 12 di bawah ini:

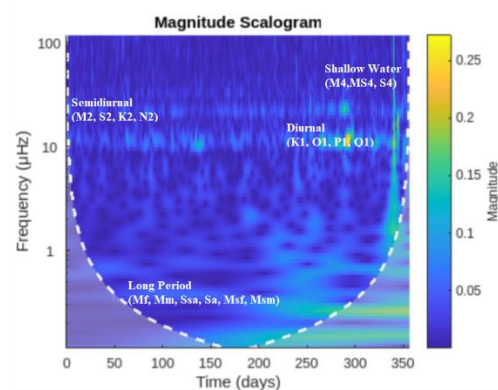


Gambar 12. Grafik Korelasi Data & Model Wavelet Pasut

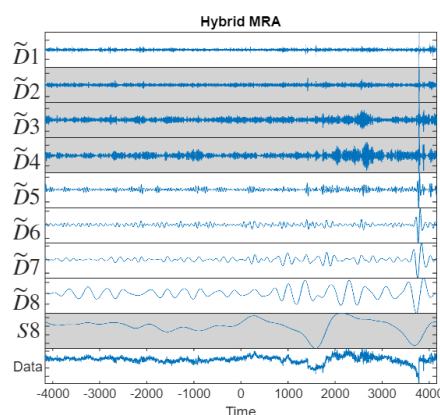
Ditinjau dari koefisien korelasi, Hubungan antara data dengan model dapat dikatakan memiliki korelasi hubungan sempurna positif. Karena metode analisis wavelet memiliki koefisien korelasi dalam interval yang sangat kuat dengan nilai koefisien korelasi 1,00 (Sugiyono, 2017). Seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 12 yang dibuat dalam bentuk grafik menunjukkan hubungan antara data dengan model wavelet multiresolusi pasang surut membentuk linear positif.

3.4 Analisis Hybrid

Dalam metode hybrid harmonik dan wavelet, analisis harmonik dan wavelet digabungkan untuk memperoleh informasi yang lebih komprehensif. Pendekatan ini melibatkan pemecahan sinyal dengan menggunakan transformasi harmonik dan transformasi wavelet secara bersamaan. Implementasi dilakukan dengan analisis harmonik digunakan untuk mengidentifikasi komponen frekuensi utama dan menguraikan dari data asli. Kemudian, analisis wavelet digunakan pada sisa data (detiding) untuk mengekstraksi informasi waktu-frekuensi yang lebih rinci. Hasil dari kedua analisis tersebut kemudian digabungkan kembali untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap tentang data. Pendekatan hybrid harmonik dan wavelet memungkinkan kombinasi kekuatan analisis harmonik dalam mengidentifikasi komponen frekuensi teratur dan analisis wavelet dalam mengidentifikasi detail waktu-frekuensi yang lebih lokal.



Gambar 13. Magnitud Scalogram Analisis Multiresolusi Hybrid

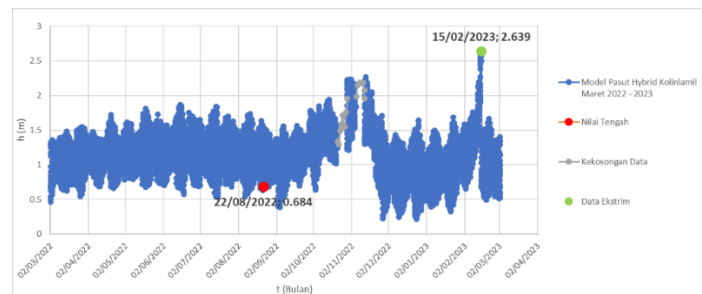


Gambar 14. Sinyal Sintesis Hybrid Tinggi Muka Air Delapan Resolusi

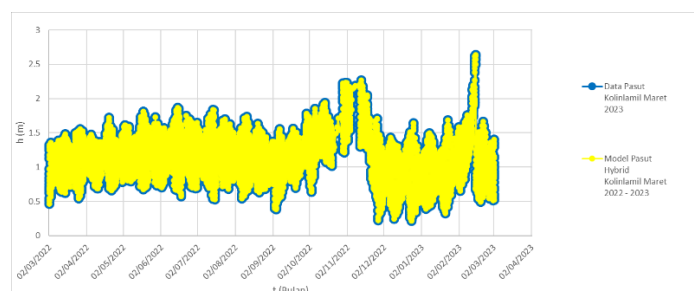
Dalam metode hybrid hasil dekomposisi pertama didapatkan dengan menggunakan metode analisis harmonik untuk mengetahui secara rinci perolehan gelombang. Kemudian, dengan melihat Gambar 14 hasil dekomposisi analisis multiresolusi hybrid ini merupakan gelombang amplitudo hasil detiding yang mana merupakan unsur nonharmonik. Jadi secara dekomposisi,

metode hybrid ini tetap menerapkan penguraian data yang dibuang pada metode analisis harmonik. Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa gelombang frekuensi pola detiding tervisualisasi di level D1 s.d. D5. Pada level keempat amplitudo mendominasi level yang lain. Di level ini terlihat terjadi perubahan yaitu dua kali penurunan pada data yang signifikan. Penurunan pertama terjadi setelah melewati waktu tengah dan penurunan kedua mendekati akhir data seperti yang ditunjukkan pada S8.

Adapun merupakan visualiasi rekonstruksi model pasang surut metode analisis hybrid ditunjukkan dalam grafik seperti yang ada pada Gambar 15 dan visualisasi perbandingan antara data dengan model pasang surut metode analisis hybrid ditunjukkan dalam grafik seperti yang ada pada Gambar 16 di bawah ini:



Gambar 15. Grafik Model Hybrid Pasut Kolinlamil Maret 2022–2023

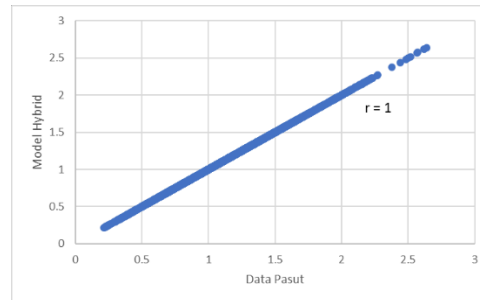


Gambar 16. Perbandingan Rekonstruksi Data & Model Hybrid Pasut Kolinlamil

Dilihat pada Gambar 16 model analisis hybrid dapat merekonstruksi model tinggi muka air yang serupa dengan data asli layaknya seperti metode analisis wavelet multiresolusi. Dengan kombinasi kekuatan analisis harmonik dan wavelet, metode hybrid harmonik dan wavelet menyediakan alat yang kuat dan fleksibel dalam analisis sinyal. Hal ini membantu dalam mengungkapkan informasi yang lebih komprehensif, pemodelan yang lebih baik, dan pemahaman yang lebih mendalam tentang sinyal atau fenomena yang kompleks.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam metode hybrid, pada Gambar 14 merupakan visualisasi dari dekomposisi data menggunakan metode analisis wavelet multiresolusi. Sinyal sintesis yang dihasilkan adalah berasal dari data pasang surut yang telah dilakukan detiding dari data pasang surut yang telah dilakukan analisis harmonik. Hasil dari pengolahan data detiding menggunakan metode analisis wavelet multiresolusi ini nantinya dikombinasikan kembali dengan hasil dari data analisis harmonik.

Adapun merupakan visualiasi koefisien korelasi antara data model pasang surut metode analisis hybrid ditunjukkan dalam grafik seperti yang ada pada Gambar 17 di bawah ini:



Gambar 17. Grafik Korelasi Data & Model Hybrid Pasut

Ditinjau dari koefisien korelasi, hubungan antara data dengan model analisis hybrid dapat dikatakan memiliki korelasi hubungan sempurna positif dan memiliki koefisien korelasi dalam interval yang sangat kuat dengan nilai koefisien korelasi 1,00 (Sugiyono, 2017). Hal ini sama dengan yang terjadi pada analisis wavelet multiresolusi, karena pada metode hybrid data merupakan kombinasi. Kombinasi yang dimaksudkan adalah saat data di proses menggunakan metode harmonik, data yang dibuang pada metode harmonik akan diproses kembali menggunakan metode wavelet multiresolusi. Dari kedua data yang dioalah dari masing-masing metode (harmonik dan wavelet multiresolusi) tersebut, selanjutnya kedua data akan digabungkan menjadi satu. Rekonstruksi model akan membentuk model yang sama dengan data seperti ditunjukkan pada Gambar 17 dan mendapatkan hasil koefisien korelasi yang terbaik.

Metode analisis harmonik, analisis wavelet multiresolusi, dan hybrid dari ketiga metode tersebut, sudah memenuhi kriteria untuk dapat memodelkan data tinggi muka air. Namun apabila melihat Tabel 9 ketiga metode tersebut memiliki keunggulan masing-masing dalam keandalan sesuai dengan tinjauannya.

Pada metode analisis harmonik data dapat dekomposisi dengan baik dan dapat menampilkan secara rinci unsur gelombang yang ada pada data. Tetapi untuk merekonstruksi model, analisis harmonik kurang dapat merepresentasikan dengan baik. Karena metode ini hanya merekonstruksi unsur harmoniknya saja. Kemudian untuk koefisien korelasi, metode analisis harmonik sudah dapat mewakili data karena pada metode ini diperoleh nilai korelasi sebesar 0,789708 dengan interval data yang kuat.

Metode analisis wavelet multiresolusi sangat baik dalam merekonstruksi model, karena merepresentasikan model yang sama dengan data. Begitu juga untuk koefisien korelasinya, metode ini memiliki interval korelasi yang sangat kuat, karena nilai korelasinya sendiri bernilai 1 (satu) yang mengartikan bahwa data dengan model berkorelasi hubungan sempurna. Tetapi pada metode wavelet multiresolusi ini memiliki kekurangan yaitu tidak dapat mengetahui dekomposisi unsur rincian gelombang yang terkandung pada data.

Dari kekurangan dan kelebihan kedua metode tadi, metode hybrid dapat menutupi kekurangan dari masing-masing metode (harmonik dan wavelet). Dalam metode hybrid, data dapat dekomposisi dengan baik dari dua metode dan mengetahui unsur rincian gelombang yang terkandung dalam data. Secara rekonstruksi, metode hybrid dapat merekonstruksi model tinggi muka air yang sama persis dengan data. Interval dari koefisien korelasi metode hybrid pun mengartikan sangat kuat dan bernilai 1 (satu) yang tentunya mengartikan hubungan sempurna antara data dengan model.

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode analisis harmonik dapat dekomposisi gelombang pasut dengan baik, memiliki nilai koefisien korelasi kuat sebesar 0,789708. Namun, saat merekonstruksi tidak dapat memodelkan lonjakan dan kekosongan data.
2. Metode analisis wavelet multiresolusi memiliki koefisien korelasi yang sangat kuat sebesar 1 dan dapat merekonstruksi data dengan sangat baik. Namun, sulit untuk dekomposisi gelombang pasut.
3. Metode hybrid dapat dekomposisi gelombang pasut seperti metode analisis harmonik dan dapat merekonstruksi data dengan sangat baik serta memiliki nilai koefisien korelasi yang sangat kuat sebesar 1.

4.2 Saran

Adapun beberapa saran dalam penelitian tugas akhir yang dapat diterapkan untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan data pasang surut dengan range waktu yang lebih panjang untuk dapat mengetahui perubahan pola harmonik pasut.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih mendalam terkait metode wavelet untuk dapat memprediksi pasang surut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abubakar, A. G., Mahmud, M. R., Tang, K. K. W., & Husaaini, A. (2020). Presentation of a Wavelet-Based Harmonic Model for Tidal Level Forecasting at Sabah and Sarawak. *Geomatics and Environmental Engineering*, 14(4).
- Alsari, F. F., & Perbani, N. R. C. (2021). Investigasi Diskontinuitas Karakteristik Pasut dan MSL di Stasiun Kolinlamil Akibat Pembangunan NPCT dan Reklamasi Teluk Jakarta. FTSP.
- Buana, R. B. (2017). Tugas Akhir - Studi Pembuatan Model Alat Pasang Surut Otomatis. DEPARTEMEN TEKNIK Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Caraka, R. E., Yasin, H., & Suparti, S. (2015). Pemodelan Tinggi Pasang Air Laut di Kota Semarang dengan Menggunakan Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform (MODWT). *Jurnal Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2(2), 104-114.
- Darusalam, U. (2009). Wavelets Transform: Overview Teknis. *Jurnal Artificial ICT Reserch Center, UNAS*, 3(1).
- Egbert G.D., Ray R.D.: Tidal prediction. *Journal of Marine Research*, vol. 75, no. 3, 2017, pp. 189–237.
- El-Diasty, M., & Al-Harbi, S. (2015). Development of wavelet network model for accurate water levels prediction with meteorological effects. *Applied Ocean Research*, 53, 228-235.
- El-Diasty, M., Al-Harbi, S., & Pagiatakis, S. (2018). Hybrid harmonic analysis and wavelet network model for sea water level prediction. *Applied Ocean Research*, 70, 14-21.
- Hasibuan, R. D., Surbakti, H., & Sitepu, R. (2015). Analisis Pasang Surut dengan Menggunakan Metode Least Square dan Penentuan Periode Ulang Pasang Surut dengan Metode Gumbel di Perairan Boom Baru dan Tanjung Buyut. *Maspari Journal: Marine Science Research*, 7(1), 35-48.

- Hou, T. (1992), "Sequential Tidal Analysis and Prediction.", M.Sc. thesis. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick, Fredericton, N.B., Canad, 126 pp.
- Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC). 2023. Sea Level Monitoring, diakses dari <https://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=koli>, pada 21 April 2023.
- Kowalik, Z., Proshutinsky, T., & Proshutinsky, A. (2006). Tide-tsunami interactions. *Science of Tsunami Hazards*, 24(4), 242-256.
- Laura, C. (2011). A Wavelet Based Approach for Series Timing (Doctoral dissertation, PhD Thesis, Politecnica University of Timisoara and Telecom Bretagne, Timisoara).
- Lisitzin, E. (1974). *Sea-level changes*. Elsevier.
- Liu J., Shi G., Zhu K.: High-Precision Combined Tidal Forecasting Model. *Algorithms*, vol. 12, no. 3, 2019, pp. 65 (1–17).
- Mallat, S. (1998), *A wavelet tour of signal processing*, Academic Press, New York, USA.
- Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., & Poggi, J. M. (1996). *Wavelet toolbox*. The MathWorks Inc., Natick, MA, 15, 21.
- NOAA. (2006). Harmonic Constituents, diakses dari <https://tidesandcurrents.noaa.gov/harcon.html?id=9410170>, pada 4 Juli 2023.
- National Oceanic and Atmospheric Adminis, et al. (2013). *Tidal Analysis and Prediction: NOAA Special Publication NOS CO-OPS 3*.
- Pagiatakis, SD. (1999), "Stochastic significance of peaks in the least-squares spectrum.", *J. Geodesy*, 73, 67–78.
- Rangelova, E. V., Grebenitcharsky, R. S., & Sideris, M. G. (2006). Identifying sea-level rates by a wavelet-based multiresolution analysis of altimetry and tide gauge data. *Bureau Gravimétrique International & International Geoid Service Joint Bulletin*, Newton's Bulletin, 3, 104-115.
- Sugiyono. 2017, *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. bandung: Alfabeta.