

DWAVE-TOOLBOX: PROGRAM UNTUK ANALISIS GELOMBANG DESAIN

Irham Adrie Hakiki

Balai Teknik Pantai, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

*adriehakiki@pu.go.id

Pemasukan: 2 Nopember 2022 Perbaikan: 14 Nopember 2022 Diterima: 21 Nopember 2022

Intisari

Gelombang desain adalah salah satu parameter utama dalam perancangan bangunan di lingkungan laut. Pada umumnya gelombang desain diperoleh dari hasil analisis statistik untuk menentukan kejadian ekstrim. Keandalan model statistik ini sangat ditentukan oleh ketersediaan data. Selain itu, dari sebaran data tersebut, dapat juga diketahui kejadian dominan yang dapat mempengaruhi orientasi struktur. Akan tetapi, data gelombang yang tersedia di Indonesia sangat terbatas, sehingga pada umumnya data gelombang diperoleh dari proses peramalan berdasarkan data angin dari stasiun pengamatan terdekat. Namun, banyak lokasi pekerjaan pantai yang jaraknya jauh dari stasiun yang ada sehingga dikhawatirkan data tersebut tidak representatif. Sebagai alternatif, data gelombang dapat diperoleh dari model global seperti WaveWatch III NOAA atau ERA5 ECMWF. Namun, data tersebut pada umumnya disimpan pada format khusus yang memerlukan pemahaman programming untuk mengambilnya sehingga penggunaannya tidak mudah bagi sebagian besar praktisi di Indonesia. Dwave-Toolbox merupakan program dengan GUI yang dikembangkan untuk mempermudah melakukan analisis gelombang desain dengan memanfaatkan data dari ERA5 ECMWF. Pengguna dapat menggunakan program ini untuk mengunduh data gelombang dan angin di titik yang diinginkan. Kemudian dari data tersebut dapat dilakukan proses analisis yang mencakup distribusi arah dan kejadian dalam bentuk tabel dan mawar angin/gelombang serta melakukan analisis nilai ekstrim dengan metode maksimal tahunan.

Kata kunci : mawar angin, mawar gelombang, analisis nilai ekstrim, distribusi kejadian gelombang

Latar Belakang

Gelombang laut merupakan fenomena naik turunnya permukaan air laut akibat sebuah gaya pembangkit. Sumber gaya pembangkit akan menyebabkan gelombang dengan energi dan frekuensi yang berbeda beda. Gelombang yang sering terjadi di laut adalah gelombang angin dan *swell* yang faktor pembangkit utamanya adalah angin (Babanin dkk, 2019). Perbedaan utama dari gelombang angin dan *swell* adalah lokasi pembangkitannya (*fetch*), dengan gelombang angin merujuk pada gelombang yang dibangkitkan pada perairan lokal sedangkan *swell* merupakan gelombang yang berasal dari *fetch* di luar perairan lokal. Secara parameter, *swell*

dapat diamati dari periode gelombangnya yang cenderung lebih panjang (Ardhuin dkk, 2007).

Gelombang – gelombang dengan frekuensi kejadian tinggi tersebut merupakan gelombang yang menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan bangunan di laut. Perbedaan tekanan air saat di puncak dan lembah gelombang serta akselerasi pada massa air dikonversi menjadi gaya yang bekerja pada bangunan (Mitsuyasu 1962). Namun, kejadian gelombang merupakan sekumpulan kejadian acak yang tidak terdistribusi merata, sehingga pada umumnya digunakan suatu parameter untuk merepresentasikan kejadian tersebut. Parameter tersebut akan mewakili kondisi perairan laut dalam suatu rentang periode. Pada umumnya parameter representatif tersebut dinyatakan dengan $H_{1/3}$ atau H_s untuk domain waktu dan H_{m0} untuk domain frekuensi (Goda 1988).

Dalam konteks gelombang desain, umur layan bangunan digunakan sebagai acuan penentuan nilai gelombang desain. Maka, analisis nilai ekstrim digunakan untuk mendapat nilai desain berdasarkan probabilitas terlampauinya suatu kejadian (Caires 2011). Dalam hal ini, ketersediaan data historis menjadi faktor penting agar model matematika yang digunakan cukup handal dalam memprediksi nilai ekstrim. Selain itu, dari data historis juga perencana akan mendapat gambaran mengenai distribusi arah gelombang sehingga dapat digunakan untuk menentukan arah dominan gelombang yang nantinya terkait dengan orientasi struktur yang direncanakan (Goda 2008).

Kinerja penentuan gelombang desain akan sangat terkait dengan ketersediaan data. Akan tetapi, data gelombang terutama yang merupakan hasil pengamatan sangat langka di Indonesia. Oleh sebab itu, penentuan gelombang desain dilakukan dengan data sekunder. Metode yang umum digunakan oleh praktisi di Indonesia adalah dengan peramalan gelombang melalui angin menggunakan metode SMB (Etemad-Shahidi, Kazeminezhad, dan Mousavi, 2009). Selain itu, ada juga penggunaan data gelombang dari model global seperti ERA5 (Hersbach dkk, 2020) ataupun WaveWatch III (Tolman 2009).

Metode pertama terkendala dengan ketersediaan data angin. Jika menggunakan data observasi, data yang ada hanya sebatas yang ada di fasilitas pengamatan cuaca yang dimiliki BMKG. Jika lokasi studi jauh dari fasilitas tersebut maka ketersediaan data kembali menjadi masalah utama. Jika tetap memaksakan dengan data terdekat maka akan sangat berkompromi dengan akurasi.

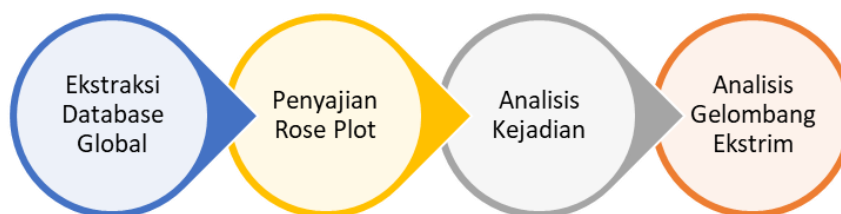
Sedangkan untuk metode kedua terkendala dengan akses data. Model – model peramalan cuaca global umumnya disimpan dengan format khusus untuk menghemat kapasitas penyimpanan. Pengguna memerlukan keahlian dalam bahasa program untuk dapat mengakses tersebut. Oleh karena itu, penggunaan data dari model cuaca global masih belum terlalu populer meskipun menawarkan ketersediaan data pada resolusi dan akurasi yang semakin tinggi seiring dengan berkembangnya teknologi komputer.

Kemudian, dari pengalaman penulis menangani permasalahan di pantai, banyak ditemui bahwa penyebab utama kegagalan bangunan di pantai adalah akibat dari kesalahan pemilihan gelombang desain. Atas motivasi tersebut, maka penulis

mengembangkan DWave-Toolbox. DWave-Toolbox merupakan program yang memungkinkan pengguna untuk mengambil data gelombang dan angin dari database ERA5 ECMWF. Program memiliki GUI untuk memudahkan interaksi pengguna. Selain itu program ini dilengkapi fitur untuk melakukan penyajian data dan analisis untuk menghasilkan gelombang desain.

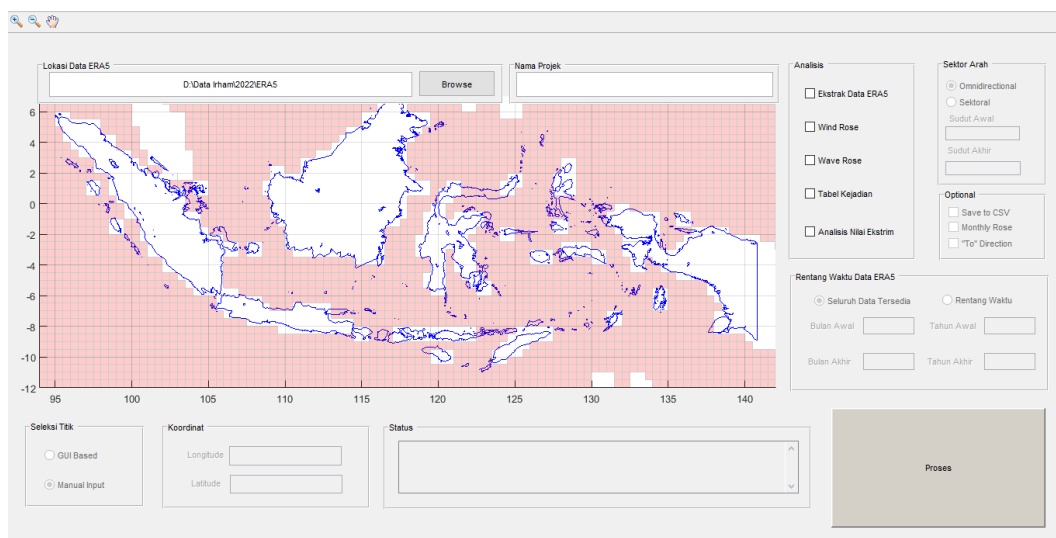
Metodologi Studi

DWave-Toolbox memungkinkan pengguna untuk memilih titik di perairan Indonesia dan kemudian mengambil data gelombang dan angin terdekat yang tersedia pada database model ERA5 ECMWF dari titik input tersebut. Kemudian pengguna dapat memilih untuk memproses data ke dalam bentuk plot mawar (*rose plot*), tabulasi kejadian pada rentang kelas, ataupun melakukan analisis nilai ekstrim pada data tersebut. Proses tersebut akan dilakukan secara linier jika semua fitur analisis dipilih pengguna dengan alur proses seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur program DWave-Toolbox

Pengguna dapat mengaktifkan fitur – fitur tambahan untuk analisis yang lebih spesifik, misalnya penentuan rentang waktu data yang akan digunakan atau pembatasan sektor arah dalam analisis. Secara bawaan, fitur – fitur tersebut dalam mode non-aktif dan pengguna dapat mengaktifkannya ketika memilih mode analisis yang berkaitan dengan fitur tersebut. Fitur pada program saat tidak aktif akan menjadi abu – abu pada program. Tampilan dasar program dalam mode awal dipanggil disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan utama program DWave-Toolbox

Ekstraksi Data

Data yang diintegrasikan pada DWave-Toolbox dibatasi hanya pada wilayah perairan Indonesia, yaitu pada batas 94° BT s.d. 142° BT dan 7° LU s.d. -12° LS. Data mengambil dari ERA5 ECMWF untuk suatu periode waktu dengan parameter utama yang digunakan adalah Tingi signifikan dari gabungan gelombang angin dan swell (*Significant height of combined wind waves and swell*), Periode puncak gelombang (*Peak wave period*), Arah rata – rata gelombang (*Mean wave direction*), komponen-u angin 10m (*10m u-component of wind*), dan komponen-v angin 10m (*10m v-component of wind*) dengan 2 jenis akses data yang dimungkinkan, yaitu luring dan daring.

Secara luring DWave-Toolbox memerlukan untuk mengunduh data jam-an dari dataset *ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present* dalam format NetCDF dan disimpan secara terpisah untuk tiap bulannya dan seluruh data disimpan dalam folder yang sama dengan penamaan berurut dengan format “yyyymm.nc”. Sedangkan secara daring DWave-Toolbox akan mengakses data ERA5 yang disimpan pada server Amazon Web Service (AWS).

Data yang telah diekstraksi akan disimpan secara otomatis dalam format MATLAB® untuk menyimpan variabel (.mat), namun pengguna diberikan opsi untuk menyimpan data dalam format *comma separated file* (.csv) apabila ingin menggunakan data tersebut untuk keperluan lain.

Plot Mawar (Rose Plot)

DWave-Toolbox memungkinkan pengguna untuk menyajikan data yang telah diekstrak ke dalam bentuk plot mawar. Penyajian plot mawar ini menggunakan script Wind Rose yang dikembangkan oleh Pereira (2022). Selain penggunaan menerus dari fitur sebelumnya, pengguna juga dapat menggunakan fitur ini untuk membuat plot mawar secara mandiri dan tidak terkait dari hasil ekstrak program ini. Namun, pengguna perlu menyiapkan data dalam file mat atau csv dengan format penyimpanan data sesuai dengan yang diberikan oleh fitur ekstraksi data. Dengan menggunakan fitur rose plot pengguna juga dapat memilih sektor arah data yang akan diproses. Pengguna juga dapat memilih untuk membuat *rose plot* bulanan, namun untuk fitur ini masih dikhususkan untuk arah *omnidirectional*. Sejauh ini hanya plot mawar *omnidirectional* yang akan otomatis disimpan di komputer. Selain itu, khusus untuk *wave rose*, pengguna dapat menentukan konvensi arah yang digunakan. Pada dasarnya untuk *wind rose* dan *wave rose* menggunakan konvensi “dari” untuk menyatakan arah kejadian.

Tabel Kejadian

Salah satu bentuk penyajian data DWave-Toolbox adalah organisasi data dalam tabulasi kejadian. Data dikategorikan ke dalam beberapa kelas kejadian dengan interval 2,5 m/detik untuk kejadian angin dan 0,5 m untuk kejadian gelombang. Data kejadian dikategorikan juga berdasarkan arah datang kejadian ke dalam 16 sektor arah mata angin. Selain jumlah kejadian, probabilitas kejadian untuk data tersebut juga diperhitungkan dan disajikan dalam spesifikasi tabel yang sama. Data tabel kemudian disimpan pada file *spreadsheet* yang telah diformat dalam bentuk

penyajian tabel. Hanya saja masih perlu penyesuaian tabel tersebut secara manual. Pengguna juga dapat menggunakan fitur ini secara mandiri selama menyediakan data dengan format yang sesuai.

Analisis Nilai Ekstrim

Analisis nilai ekstrim yang digunakan dalam DWave-Toolbox adalah metode maksimum tahunan (*annual maxima*) yang diprediksi dengan model Gumbel. Pencarian solusi untuk nilai ekstrim dibantu oleh script WAFO (Brodtkorb dkk, 2000) yang diintegrasikan dalam program.

Hasil prediksi gelombang ekstrim dengan fungsi Gumbel hanya menghasilkan nilai tinggi gelombang, sedangkan karena pada umumnya gelombang bersifat unik, maka tinggi gelombang ekstrim tersebut memiliki nilai periode yang mendampinginya. Nilai periode gelombang ini diperoleh dari hubungan sebaran tinggi dan periode gelombang.

Pertama, grafik sebaran tinggi dan periode gelombang dibuat untuk data gelombang yang diproses, dengan sumbu-x adalah parameter tinggi gelombang dan sumbu-y adalah parameter periode gelombang.

Kedua, dari sebaran data tersebut akan dihitung sebuah fungsi pendekatan (*fitting*) untuk mengetahui trend data dan fungsi trend tersebut digunakan untuk memprediksi nilai periode gelombang dari tinggi gelombang yang akan digunakan untuk mencari periode gelombang yang mendampingi tinggi gelombang ekstrim.

Ketiga, sebaran data akan didekati dengan fungsi linier dan logaritmik dan akan dievaluasi dengan 3 parameter statistik yaitu *R-squared*, *Root Mean Square Error* (RMSE), dan *Sum of Squares Error* (SSE) untuk kemudian ditentukan fungsi mana yang paling baik untuk mendekati sebaran data.

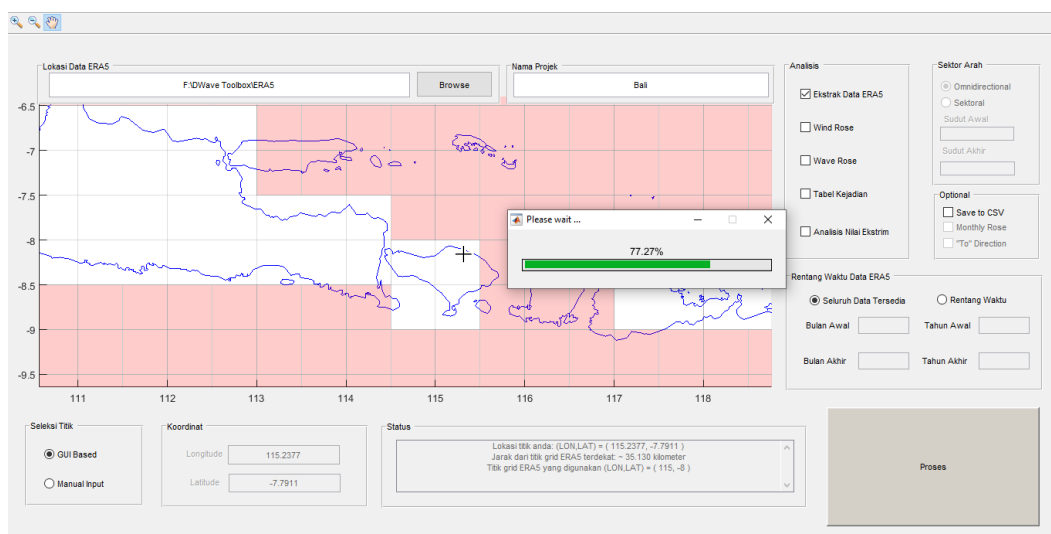
Terakhir, pengguna diharuskan untuk mengevaluasi populasi data pada grafik yang dimunculkan dan menentukan batas periode gelombang yang diproses. Pembatasan ini penting dilakukan bagi daerah yang terdapat gelombang *swell* dengan tinggi gelombang yang kecil karena akan sangat mempengaruhi proses fitting sehingga menghasilkan *trend* negatif yang menyebabkan prediksi periode menjadi tidak realistis.

Hasil analisis nilai ekstrim kemudian akan disimpan pada file *spreadsheet* yang telah diformat dalam bentuk penyajian tabel. Hasil yang disimpan berupa nilai ekstrim untuk kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun. Selain itu, pada fitur ini dimungkinkan untuk mengolah data sektoral.

Hasil Studi dan Pembahasan

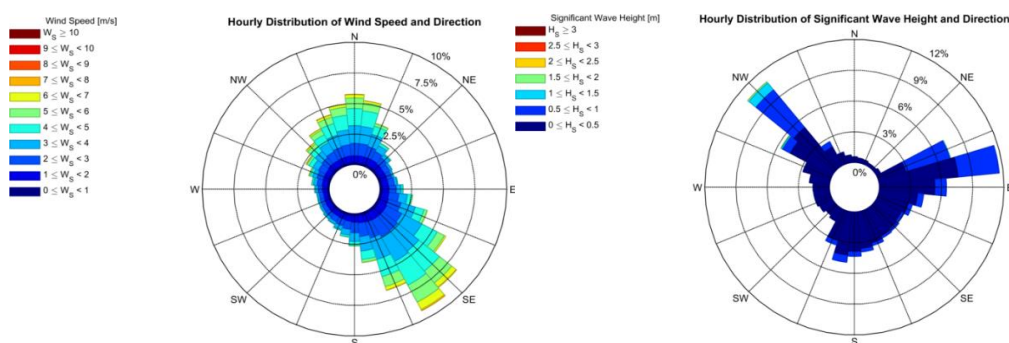
Secara umum, proses yang dilakukan pada program adalah ekstraksi data dari database dan pengolahan data tersebut menjadi data yang dapat digunakan sebagai gelombang desain pada laut dalam. Proses tersebut dipermudah dengan tampilan interaktif pada program yang dikumpulkan pada menu utama. Menu utama program digunakan untuk menentukan lokasi pengambilan data serta jenis analisis yang dilakukan. Secara waktu proses, sebagian besar waktu analisis berada pada proses

ekstraksi data. Penggunaan data secara luring dan daring menyebabkan perbedaan waktu yang signifikan yang merupakan kendala utama pada program.

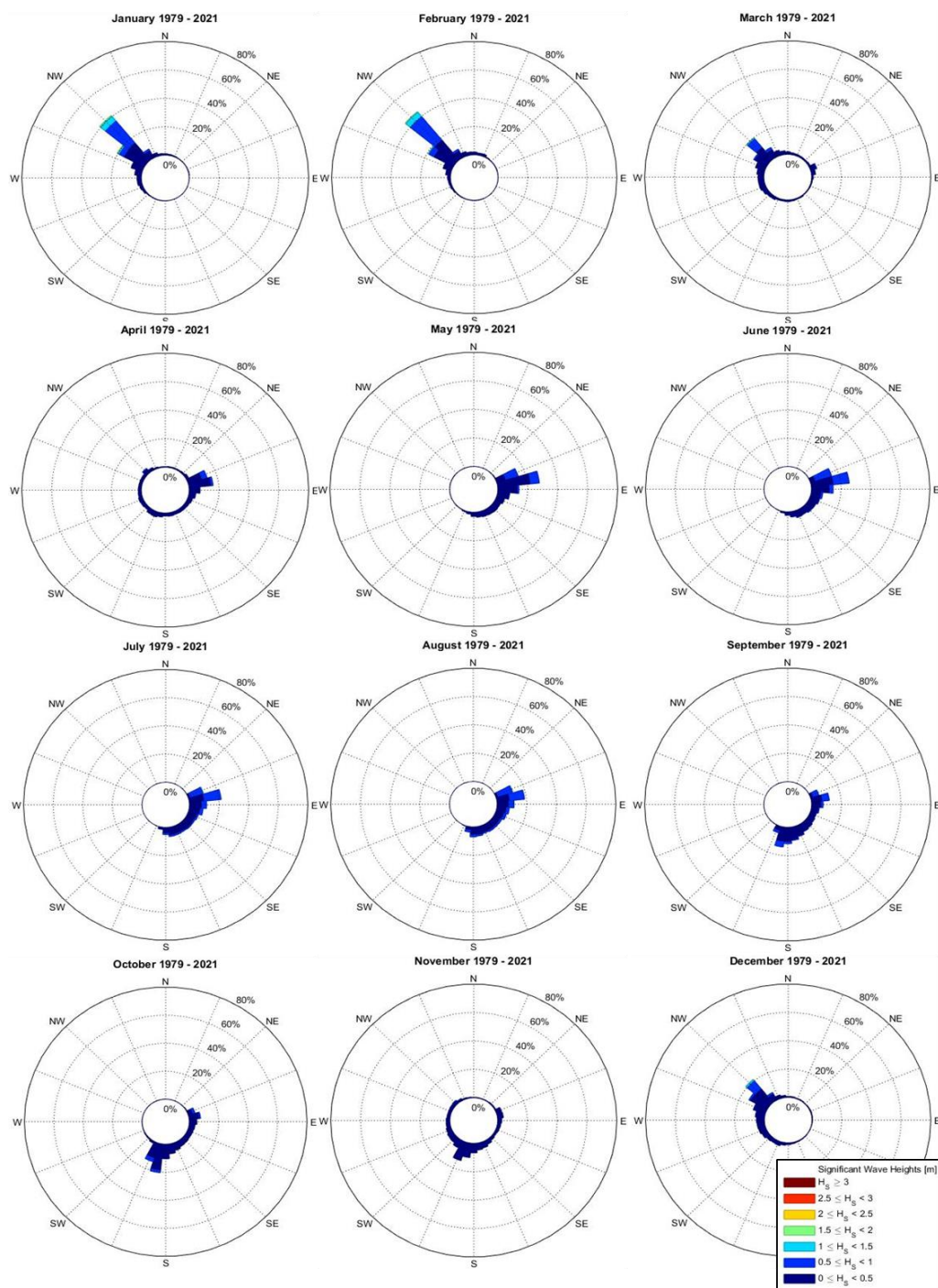


Gambar 3. Tampilan menavigasi peta dan proses ekstraksi data

Secara prioritas, program mengolah data yang dapat diakses secara lokal, apabila program tidak dapat menemukan data dengan format sesuai, maka data akan diambil secara daring dari *bucket* ERA5 AWS. Pada dasarnya, DWave-Toolbox dikembangkan dengan optimalisasi untuk ekstraksi data di wilayah Indonesia secara luring. Oleh karena itu, terdapat perbedaan kecepatan yang sangat signifikan ketika mengakses secara daring. Algoritma yang digunakan untuk membaca data ERA5 masih belum cukup efisien, karena tetap memerlukan memindai satu *file* data meskipun hanya ingin mengakses 1 parameter. Penggunaan sumber data pada ERA5 AWS belum memungkinkan untuk mengakses data pada sub-wilayah tertentu sehingga tetap memerlukan untuk mengakses seluruh data meskipun hanya ingin mengambil data secara parsial. Selain itu, pada akses daring terdapat faktor tambahan yang mempengaruhi kecepatan akses data. Selain algoritma dan kecepatan *input-output* pada perangkat, *bandwidth* internet serta *traffic server* juga menjadi parameter yang krusial perannya dalam kecepatan akses data. Hal tersebut menyebabkan perbedaan skema akses data ini memberikan perbedaan waktu yang substansial dan mengakibatkan kurang efisiennya penggunaan DWave-Toolbox secara daring.



Gambar 4. Tampilan *wind rose* (kiri) dan *wave rose* (kanan)



Gambar 5. *Rose plot* bulanan perairan utara Cirebon

Studi Kasus

Studi kasus pada perairan Laut Bali utara digunakan untuk menunjukkan kemampuan DWave-Toolbox dalam mengolah dan menyajikan data. Titik ekstraksi dipilih dengan menentukan titik dari peta yang tersaji (Gambar 3). Untuk memperjelas lokasi, maka peta diperbesar di daerah studi. Daerah perairan yang

ditunjukkan dengan warna merah menunjukkan bahwa pada daerah tersebut terdapat data gelombang dari model ERA5.

Kemudian fitur membuat *wind rose* dan *wave rose* dipilih untuk arah omnidirectional serta digunakan juga fitur untuk membuat *wave rose* bulanan. Kejadian angin di Bali utara didominasi dari arah tenggara dan barat laut. Kejadian terbesar serta frekuensi tertinggi sama – sama berasal dari arah tenggara (Gambar 4 (kiri)). Sedangkan gelombang di Bali utara didominasi dari Barat Laut dan Timur. Kemudian, dari arah Selatan sampai Timur teramati adanya distribusi gelombang yang cukup merata dengan besaran yang cukup signifikan. Gelombang besar dominan datang dari arah Barat Laut sedangkan frekuensi paling sering berasal dari Timur (Gambar 4 (kanan)).

Iklim gelombang di Bali utara diketahui bahwa sangat dipengaruhi oleh muson seperti yang ditunjukkan pada distribusi gelombang bulanan (Gambar 5). Pada bulan Desember – Februari yang identik dengan muson barat menunjukkan bahwa gelombang dominan datang dari arah Barat Laut. Sedangkan pada muson timur (Mei – Juli) gelombang dominan datang dari arah Timur.

a

Direction	Number of Hours						Percentage					
	Wind Speed (cm/s)						Wind Speed (cm/s)					
	0 - 2.5	2.5 - 5.0	5.0 - 7.5	7.5 - 10.0	Total		0 - 2.5	2.5 - 5.0	5.0 - 7.5	7.5 - 10.0	Total	
North	8,882	25,555	8,155	59	42,651		2.34	6.73	2.15	0.02	11.23	
North North East	8,635	16,630	2,291	12	27,568		2.27	4.38	0.60	0.00	7.26	
North East	7,870	5,227	97	2	13,196		2.07	1.38	0.03	0.00	3.47	
North East North	7,046	2,870	16	-	9,932		1.86	0.76	0.00	-	2.61	
East	7,808	6,368	205	-	14,381		2.06	1.68	0.05	-	3.79	
East South East	9,703	19,209	2,271	2	31,185		2.55	5.06	0.60	0.00	8.21	
South East	11,310	38,346	13,109	86	62,851		2.98	10.10	3.45	0.02	16.55	
South South East	10,782	30,654	9,227	86	50,749		2.84	8.07	2.43	0.02	13.36	
South	8,411	11,719	604	5	20,739		2.21	3.09	0.16	0.00	5.46	
South South West	6,534	5,226	106	1	11,867		1.72	1.38	0.03	0.00	3.12	
South West	5,811	3,187	39	-	9,037		1.53	0.84	0.01	-	2.38	
West South West	5,233	2,576	78	7	7,894		1.38	0.68	0.02	0.00	2.08	
West	5,336	3,340	150	3	8,829		1.40	0.88	0.04	0.00	2.32	
West North West	6,358	6,261	1,007	38	13,664		1.67	1.65	0.27	0.01	3.60	
North West	7,378	11,800	3,140	114	22,432		1.94	3.11	0.83	0.03	5.91	
North North West	8,243	18,855	5,655	94	32,847		2.17	4.96	1.49	0.02	8.65	
Total	125,340	207,823	46,150	509	379,822		33.00	54.72	12.15	0.13	100.00	

b

Direction	Number of Hours								Percentage							
	Significant Wave Height (m)								Significant Wave Height (m)							
	0 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 1.5	1.5 - 2.0	2.0 - 2.5	2.5 - 3.0	Total		0 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 1.5	1.5 - 2.0	2.0 - 2.5	2.5 - 3.0	Total	
North	4,308	40	-	-	-	-	4,348		1.13	0.01	-	-	-	-	1.14	
North North East	3,056	15	-	-	-	-	3,071		0.80	0.00	-	-	-	-	0.81	
North East	2,603	21	-	-	-	-	2,624		0.69	0.01	-	-	-	-	0.69	
North East North	26,202	27,658	319	9	-	-	54,188		6.90	7.28	0.08	0.00	-	-	14.27	
East	42,132	9,975	-	-	-	-	52,107		11.09	2.63	-	-	-	-	13.72	
East South East	23,171	3,192	-	-	-	-	26,363		6.10	0.84	-	-	-	-	6.94	
South East	21,524	2,283	-	-	-	-	23,807		5.67	0.60	-	-	-	-	6.27	
South South East	24,489	2,273	-	-	-	-	26,762		6.45	0.60	-	-	-	-	7.05	
South	29,415	3,746	1	-	-	-	33,162		7.74	0.99	0.00	-	-	-	8.73	
South South West	22,811	3,453	-	-	-	-	26,264		6.01	0.91	-	-	-	-	6.91	
South West	9,163	82	-	-	-	-	9,245		2.41	0.02	-	-	-	-	2.43	
West South West	11,718	72	-	-	-	-	11,790		3.09	0.02	-	-	-	-	3.10	
West	12,364	164	-	-	-	-	12,528		3.26	0.04	-	-	-	-	3.30	
West North West	21,757	634	22	-	-	-	22,413		5.73	0.17	0.01	-	-	-	5.90	
North West	33,971	22,519	3,894	797	67	3	61,251		8.94	5.93	1.03	0.21	0.02	0.00	16.13	
North North West	9,081	793	25	-	-	-	9,899		2.39	0.21	0.01	-	-	-	2.61	
Total	297,765	76,920	4,261	806	67	3	379,822		78.40	20.25	1.12	0.21	0.02	0.00	100.00	

Gambar 6. Tampilan tabel kejadian yang disimpan pada file *spreadsheet*.

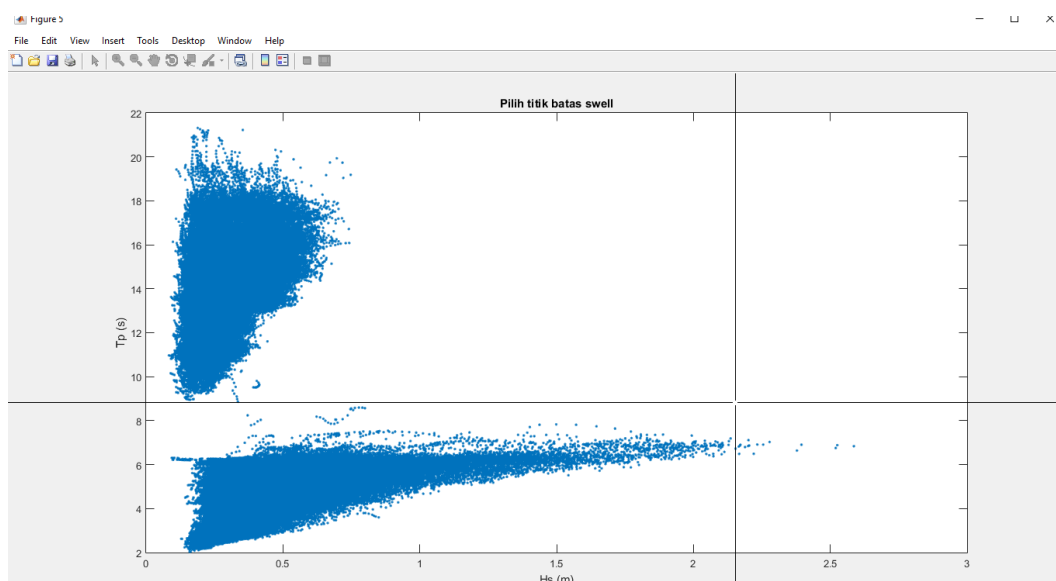
a) angin; b) gelombang

Dengan mengaktifkan fitur tabel kejadian, maka akan dilakukan analisis kejadian dan menyimpan hasil berupa tabel jumlah kejadian dan probabilitasnya untuk kejadian angin dan gelombang dengan tampilan seperti Gambar 6 (sudah dilakukan penyuntingan manual untuk menghapus kolom yang tidak berisi data). Data untuk perairan utara Bali ini menunjukkan jika kejadian angin terbanyak pada rentang 2,5 s.d. 5 m/detik di arah Tenggara dan kejadian gelombang pada rentang 0 s.d. 0,5 m di arah Timur.

Kemudian analisis terakhir adalah analisis nilai ekstrim yang dilakukan untuk arah *omnidirectional*. Dalam proses analisis ini akan ditampilkan grafik sebaran tinggi dan periode gelombang yang menunjukkan distribusi tinggi dan periode gelombang. Penentuan batas periode diperlukan untuk memperoleh *fitting* trend data yang tepat. Batas periode tersebut ditentukan secara manual lewat interaksi dengan pengguna untuk memilih titik batas nilai periode agar analisis dapat dilanjutkan (Gambar 7).

Pada proses ini, keputusan subjektif masih diperlukan untuk evaluasi data sebaran terkait perlunya untuk membatasi periode yang dievaluasi. Skenario umum yang memungkinkan yaitu, tidak memerlukan pembatasan akibat persebaran data yang cenderung seragam – periode gelombang membesar seiring bertambahnya tinggi gelombang dan hal tersebut berlaku bagi gelombang lokal dan *swell* –, atau pembatasan diperlukan akibat adanya blok data yang berbeda pada sektor gelombang lokal dan *swell*.

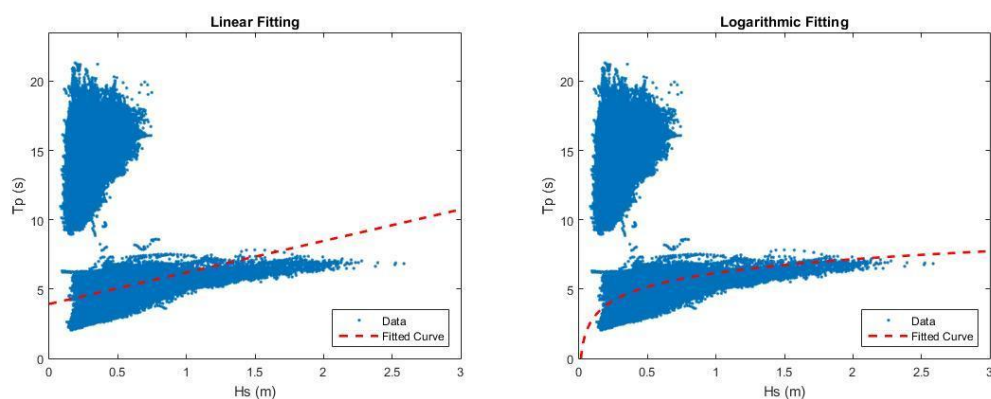
Pada kasus ini terdapat sekelompok data pada rentang tinggi 10 s.d. 20 detik, sehingga pembatasan perlu dilakukan. Batas periode dipilih di sekitar nilai 9 detik yang dianggap sebagai pemisah antara gelombang angin dan *swell* pada kasus ini. Nilai batas ini dipilih karena pada data terlihat jelas terdapat 2 blok data, pertama pada rentang periode 2 – 9 detik yang memiliki nilai tinggi gelombang lebih besar dari blok kedua yang berada pada rentang 9 sampai 22 detik.



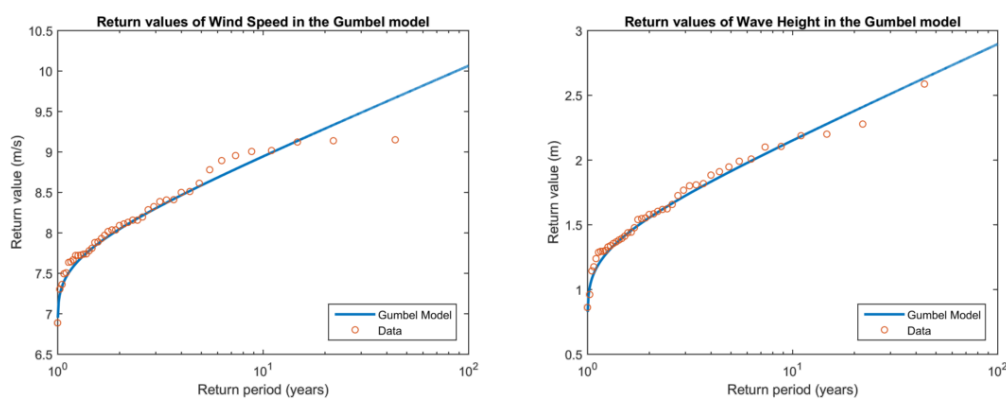
Gambar 7. Permintaan input pengguna untuk pembatasan periode

Berdasarkan data tersebut, disimpulkan bahwa data blok yang pertama adalah gelombang yang dibentuk oleh angin lokal sedangkan blok kedua adalah gelombang yang masuk dari luar *fetch* lokal (*swell*). Pada dataset ini, penggabungan blok data kedua dalam analisis akan memberikan bobot yang lebih besar pada tinggi gelombang kurang dari 1 meter, sehingga akan menghasilkan trend menurun yang merupakan pendekatan tidak realistis untuk hubungan tinggi dan periode gelombang. Selanjutnya, hasil *fitting* sebaran data dengan fungsi linier dan logaritmik akan dimunculkan pada layar (Gambar 8) dengan grafik yang didekati dengan fungsi terbaik akan otomatis disimpan di komputer.

Hasil *fitting* tersebut digunakan untuk memprediksi nilai periode yang mendampingi tinggi gelombang ekstrim dataset tersebut. Sebagai bahan evaluasi, ditampilkan hasil analisis nilai ekstrim dalam bentuk grafik untuk menunjukkan perbandingan distribusi data dan prediksi nilai terlampaui dengan fungsi Gumbel (Gambar 9). Dari grafik tersebut diketahui bahwa Penggunaan model Gumbel untuk kejadian angin *omnidirectional* di wilayah utara Pulau Bali memberikan hasil yang *overestimate*. Perbedaan mulai terobservasi dari kejadian kala ulang di atas 10 tahun. Sedangkan untuk kejadian gelombang, wilayah utara memiliki kesesuaian yang cukup baik. Hasil tersebut dapat menjadi dasar untuk menentukan apakah hasil prediksi dari model Gumbel ini dapat diterima untuk penggunaannya sebagai gelombang desain.



Gambar 8. Perbandingan fitting data sebaran tinggi dan periode gelombang
a) fungsi linier; b) fungsi logaritmik



Gambar 9. Distribusi nilai ekstrim angin (kiri) dan gelombang (kanan)
dibandingkan dengan prediksi model Gumbel

Resume hasil analisis tersebut disajikan pada tabel yang disimpan dalam file *spreadsheet* seperti yang ditunjukkan Tabel 1. Dari hasil analisis, diperoleh perbedaan yang cukup besar untuk nilai ekstrim kala ulang 1 s.d. 10 tahun dengan kejadian di rentang 10 s.d. 100 tahun terutama untuk kejadian tinggi gelombang. Perbedaan tinggi gelombang pada rentang pertama mencapai 1.4 m sedangkan rentang kedua hanya 0.7 m. Hal ini disebabkan oleh panjang data yang tersedia sehingga *fitting* data pada model Gumbel akan lebih terbobot untuk kala ulang yang

tercakup data. Data pada *server* yang mencapai 50 tahun menyebabkan prediksi model akan sangat dekat dengan data yang ada pada rentang tersebut, perbedaan signifikan di kala ulang rendah disebabkan oleh fenomena demikian yang memang tercatat pada rekaman data. Sedangkan nilai kala ulang lebih tinggi diprediksi lewat interpolasi yang telah terbobot oleh data *input*. Akibat pembobotan ini, prediksi di kala ulang tinggi tidak drastis berbeda.

Tabel 1. Hasil analisis nilai ekstrim yang disimpan pada file *spreadsheet*

Extreme Wind		Extreme Wafe		
RP (year)	Ws (m/s)	RP (year)	Hs (m)	Tp (s)
1	7.0	1	0.8	5.9
2	8.0	2	1.6	6.8
5	8.6	5	1.9	7.1
10	8.9	10	2.2	7.3
25	9.4	25	2.5	7.4
50	9.7	50	2.7	7.4
100	10.1	100	2.9	7.7

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dwave-Toolbox adalah suatu program untuk melakukan analisis gelombang desain. Melalui program ini pengguna dapat melakukan ekstraksi data gelombang dan angin di wilayah Indonesia dari database ERA5 baik secara luring dan daring. Kemudian data tersebut dapat disajikan secara visual ke dalam *rose plot* dan tabel kejadian. Data tersebut dapat diproses ke dalam nilai ekstrim untuk kala ulang tertentu. Namun, data tersebut masih merupakan data pada grid model ERA5 yang merepresentasikan kondisi di laut dalam. Sehingga dalam penggunaannya untuk keperluan desain di pantai nilai hasil perhitungan program ini masih harus ditransformasikan ke laut dangkal dengan model refraksi dan difraksi gelombang. Program ini diharapkan dapat membantu pengguna dalam menentukan gelombang desain yang akan dimodelkan sebelum masuk ke tahap perhitungan struktur dan mempermudah proses peramalan gelombang di laut dalamnya.

Saran

Program ini masih memiliki kelemahan pada hal akses data. Akses data secara daring memerlukan waktu yang sangat lama akibat besarnya data di server AWS, sedangkan bila digunakan secara luring maka memerlukan kapasitas penyimpanan data yang cukup besar sehingga masih kurang praktis untuk digunakan oleh pihak yang memerlukan data secara daring. Ke depannya, program ini akan dikembangkan ke dalam *web platform*. Data akan disimpan di *server* Balai Teknik Pantai dengan metode akses yang lebih optimal sehingga pengguna daring dapat mengakses data lebih cepat dan hanya mengkonsumsi sedikit *bandwidth* dan kuota.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih ditujukan kepada Leo Eliasta Sembiring yang memberikan konsep awal dan dasar untuk pengembangan program ini dan Deepak Vatvani yang mengenalkan ERA5 dengan lebih detil serta mengajarkan konsep penentuan

gelombang desain. Serta seluruh elemen di Balai Teknik Pantai yang telah mendukung dengan sumber daya dan umpan balik.

Daftar Referensi

- Ardhuin, Fabrice, T. H. C. Herbers, Gerbrant Ph van Vledder, Kristen P. Watts, R. Jensen, and Hans C. Graber. 2007. Swell and Slanting-Fetch Effects on Wind Wave Growth. *Journal of Physical Oceanography* 37(4):908–31. <https://doi.org/10.1175/JPO3039.1>
- Babanin, Alexander V., W. Erick Rogers, Ricardo de Camargo, Martin Doble, Tom Durrant, Kirill Filchuk, Kevin Ewans, Mark Hemer, Tim Janssen, Boris Kelly-Gerreyn, Keith Machutchon, Peter McComb, Fangli Qiao, Eric Schulz, Alex Skvortsov, Jim Thomson, Marcello Vichi, Nelson Violante-Carvalho, David Wang, Takuji Waseda, Greg Williams, and Ian R. Young. 2019. Waves and Swells in High Wind and Extreme Fetches, Measurements in the Southern Ocean. *Frontiers in Marine Science* 6(JUL):1–12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00361>
- Brodtkorb, Pär Andreas, Par Johannesson, Georg Lindgren, Igor Rychlik, Jesper Rydén, and Eva Sjö. 2000. WAFO-a Matlab Toolbox for Analysis of Random Waves and Loads. in *The tenth international offshore and polar engineering conference*. OnePetro.
- Caires, Sofia. 2011. Extreme Value Analysis : Wave Data. *JCOMM Technical Report No. 57* (57):33.
- Etemad-Shahidi, A., M. H. Kazeminezhad, and S. J. Mousavi. 2009. On the Prediction of Wave Parameters Using Simplified Methods. *Journal of Coastal Research* 505–9.
- Goda, Yoshimi. 1988. On the Methodology of Selecting Design Wave Height. *Coastal Engineering Proceedings* 1(21):899–913. <https://doi.org/10.9753/icce.v21.67>
- Goda, Yoshimi. 2008. Overview on the Applications of Random Wave Concept in Coastal Engineering. *Proceedings of the Japan Academy. Series B, Physical and Biological Sciences* 84(9):374–85. <https://doi.org/10.2183/pjab.84.374>
- Hersbach, Hans, Bill Bell, Paul Berrisford, Shoji Hirahara, András Horányi, Joaquín Muñoz-Sabater, Julien Nicolas, Carole Peubey, Raluca Radu, and Dinand Schepers. 2020. The ERA5 Global Reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146(730):1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Mitsuyasu, Hisashi. 1962. Experimental Study on Wave Force against a Wall. *Coastal Engineering in Japan* 5(1):23–47. <https://doi.org/10.1080/05785634.1962.11924617>
- Pereira, Daniel. 2022. Wind Rose. *MATLAB Central File Exchange*. <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47248-wind-rose> [diakses pada tanggal 1 September 2022]
- Tolman, H. L. 2009. User Manual and System Documentation of WAVEWATCH-IITM Version 3.14. *Technical Note* (3.14):220.