

## **Analisis Kecepatan Angin pada Pasang Surut Air Laut dengan Menggunakan Algoritma *Forward-Backward* dalam *Hidden Markov Model* di Wilayah Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya**

**D. C. R. Novitasari<sup>1</sup>, F. Febrianti<sup>2</sup>, F. Setiawan<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Ampel,

<sup>3</sup>Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya.

<sup>1,2</sup>Jl. Ahmad Yani No. 117 Surabaya 60237,

<sup>3</sup>Jl. Kalimas Baru No. 97B, Perak Utara Surabaya 60165

Email: *diancrini@uinsby.ac.id, fitriafebrianti003@gmail.com, meteomaritimsby@gmail.com*

### **ABSTRAK**

Pasang surut air laut merupakan salah satu fenomena yang terjadi di laut dan memiliki dampak yang cukup besar. Beberapa kejadian merugikan yang dapat diakibatkan oleh pasang surut air laut diantaranya adalah karamnya kapal-kapal besar ketika terjadi surut dan meluapnya air laut ke jalan sehingga mengakibatkan banjir ketika terjadi air pasang. Salah satu faktor yang mempengaruhi pasang surut air laut dan memiliki pengaruh yang cukup besar dalam aktifitas di pelabuhan adalah angin kencang. Angin kencang memiliki dampak yang cukup buruk bagi perahu nelayan atau perahu-perahu kecil lainnya karena angin kencang dapat mengakibatkan tergulingnya perahu nelayan atau perahu-perahu kecil lainnya. Beberapa kejadian merugikan yang diakibatkan oleh pasang surut air laut dan angin kencang dapat dihindari ketika hal tersebut dapat diprediksi. Penelitian ini melakukan analisis kecepatan angin pada pasang surut air laut di wilayah pelabuhan Tanjung Perak Surabaya dengan menggunakan algoritma *forward-backward* dalam *hidden markov model*. Data yang digunakan adalah data pasang surut air laut dan kecepatan angin per jam selama satu tahun, yaitu mulai dari 1 Januari 2013 sampai dengan 31 Desember 2013. Dengan menggunakan *hidden markov model* diperoleh hasil analisis kecepatan angin untuk 48 jam kedepan yaitu pada tanggal 1 Januari 2014, air pasang disertai udara ringan terjadi pada jam 10.00-13.00 WIB dan 18.00 WIB. Air pasang disertai angin sepoi lemah terjadi pada jam 19.00-24.00 WIB. Air surut disertai udara ringan terjadi pada jam 01.00-08.00 WIB dan 14.00-16.00 WIB. Air normal disertai udara ringan terjadi pada jam 09.00 WIB dan 11.00 WIB. Pada tanggal 2 Januari 2014, air pasang disertai udara ringan terjadi pada jam 01.00 WIB, 10.00 WIB, 12.00-13.00 WIB, dan 18.00 WIB. Air pasang disertai angin sepoi lemah terjadi pada jam 19.00-24.00 WIB. Air surut disertai angin sepoi lemah terjadi pada jam 11.00 WIB. Air surut disertai udara ringan terjadi pada jam 02.00-09.00 WIB dan 15.00-17.00 WIB. Air normal disertai udara ringan terjadi pada jam 14.00 WIB.

**Kata Kunci:** Algoritma forward-backward, angin, Hidden markov model, pasang surut air laut, pelabuhan Tanjung Perak Surabaya

### **ABSTRACT**

*Tidal is one of the phenomena that occur at sea and it has considerable impact. Some incidents that can be caused by tidal are the shipwrecked of ships that caused by the lessened of sea level and also the overflow of sea water into the road that caused by tide. One of the factors that influence tidal and it has a considerable impact in the activities at the harbor is a strong wind. Strong wind has a bad impact on fishing boat or other small boats because strong wind can lead to the rolled of fishing boat or other small boats. Some incidents that caused by tidal and strong wind can be avoided when they are predictable. This study analyzes wind speed present on tidal in Tanjung Perak harbor Surabaya by using forward-backward algorithm in hidden markov model. The data used is tidal and wind speed per hour for one year, starting from 1 January 2013 until 31 December 2013. By using hidden markov model, the result of wind speed analysis for the next 48 hours is on January 1, 2014, the tide accompanied by light air occurred at 10.00 to 13.00 WIB and 18.00 WIB. Tide accompanied by a weak breeze occurred at 19.00 to 24.00 WIB. Low tide with light air occurred at 01.00 to 08.00 WIB and 14.00 to 16.00 WIB. Normal water with light air occurs at 09.00 WIB and 11.00 WIB. On January 2, 2014, the tide with light air occurred at 01.00 WIB, 10.00*

WIB, 12.00-13.00 WIB, and 18.00 WIB. Tide accompanied by a weak breeze occurred at 19.00 to 24.00 WIB. Low tide with a weak breeze occurred at 11.00 WIB. Low tide with light air occurred at 02.00-09.00 WIB and 15.00-17.00 WIB. Normal water with mild air occurs at 14.00 WIB.

**Keywords:** *Forward-backward algorithm, Hidden markov model, Tanjung Perak Harbour Surabaya, Tidal, Wind*

## Pendahuluan

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan di sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi [1]. Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya merupakan pelabuhan terbesar kedua di Indonesia setelah pelabuhan Tanjung Priok di Jakarta. Banyak perusahaan swasta yang memanfaatkan pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, diantaranya adalah PT. Petikemas, Pelindo III, PT. Dok, dan perusahaan swasta lainnya. Oleh karenanya pelabuhan Tanjung Perak Surabaya memiliki peranan penting dalam segi ekonomi di Surabaya. Akan tetapi, terdapat kejadian di laut yang mempengaruhi aktifitas dipelabuhan seperti cuaca di laut, angin kencang, pasang surut air laut dan lainnya.

Pasang surut air laut merupakan salah satu fenomena yang terjadi di laut dan memiliki dampak yang cukup besar. Pasang surut air laut adalah peristiwa perubahan tinggi dan rendahnya permukaan laut yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi benda-benda astronomi, yaitu matahari dan bulan [2]. Beberapa kejadian merugikan yang dapat diakibatkan oleh pasang surut air laut diantaranya adalah karamnya kapal-kapal besar ketika terjadi surut, meluapnya air laut ke jalan sehingga mengakibatkan banjir ketika terjadi air pasang. Salah satu kejadian merugikan yang diakibatkan oleh pasang surut air laut dan mempengaruhi aktifitas di pelabuhan dialami oleh kapal layar motor (KLM) Nusantara Indah yang mengangkut 250 ekor sapi dari pelabuhan Bima ke pelabuhan Tanjung Perak Surabaya pada tanggal 18 September 2014 yang mengalami kerugian sebesar 307 juta rupiah dikarenakan matinya 13 ekor sapi yang diakibatkan lamanya waktu bongkar muat hewan ternak. Kepala seksi tertib Syahbandar mengatakan bahwa pihaknya tidak dapat berbuat banyak dikarenakan kondisi air laut pada waktu itu cukup menyulitkan yaitu pada waktu itu terjadi air surut dengan posisi air di 1,8 meter dan bongkar muat hewan ternak baru bisa dilakukan 2 hari kemudian karena diprediksi pada hari tersebut akan terjadi air pasang sampai 2,2 meter. Kejadian merugikan lainnya yang diakibatkan oleh pasang surut air laut dialami oleh kapal motor Leuser yang terjebak air surut selama 12 jam. Kapal yang mengangkut 800 penumpang ini dijadwalkan berangkat dari pelabuhan Sampit menuju pelabuhan Tanjung Perak Surabaya pada tanggal 30 Juli 2011 jam 12.00 WIB, akan tetapi KM Leuser baru dapat berangkat dari pelabuhan Sampit pada tanggal 31 Juli 2011 jam 01.30 WIB dikarenakan terjadi air surut yang mengakibatkan KM Leuser akan terjebak dan kandas jika tetap melalui sungai dengan kondisi air yang surut. Salah satu faktor yang mempengaruhi pasang surut air laut dan memiliki pengaruh yang cukup besar dalam aktifitas di pelabuhan adalah angin kencang. Angin kencang memiliki dampak yang cukup buruk bagi nelayan atau perahu-perahu kecil lainnya karena angin kencang dapat mengakibatkan tergulingnya perahu nelayan atau perahu-perahu kecil lainnya. Beberapa kejadian merugikan yang diakibatkan oleh pasang surut air laut dan angin kencang dapat dihindari ketika hal tersebut dapat diprediksi. Terdapat metode yang dapat digunakan untuk prediksi, diantaranya adalah *ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System)* seperti penelitian yang dilakukan oleh Adyanti dalam memprediksi pola cuaca maritim [3], *JST (Jaringan Syaraf Tiruan)*, *KNN (K-Nearest Neighbor)*, *analisis time series*, dan metode prediksi lainnya. Akan tetapi, metode tersebut hanya memprediksi satu variabel tanpa memperhatikan adanya variabel pendukung lainnya.

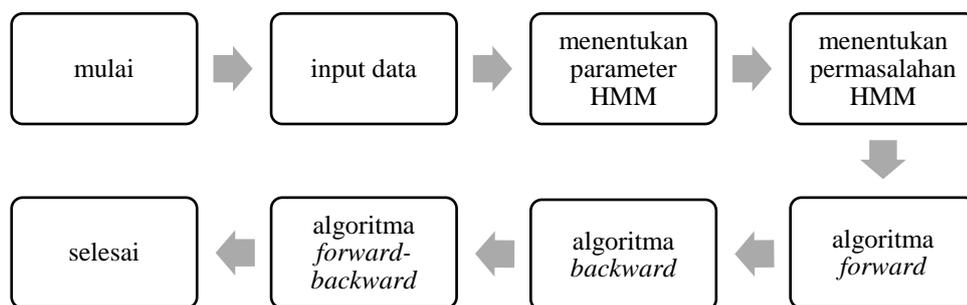
Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *hidden markov model*. Metode ini merupakan metode probabilistik yang digunakan untuk mempelajari perilaku dari sistem yang bergantung pada waktu sehingga data yang digunakan adalah data yang mempunyai sifat rantai

Markov [4]. Terdapat tiga permasalahan yang dapat diselesaikan dengan menggunakan *HMM* yaitu mencari peluang observasi, menentukan *hidden state* yang optimal, dan menaksir parameter-parameter *HMM*. Dan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, masing-masing dapat menggunakan algoritma *forward* atau algoritma *backward*, algoritma *forward-backward*, dan algoritma *baum-welch*. *HMM* banyak diterapkan dalam berbagai bidang yaitu bidang ekonomi untuk prediksi harga saham, dan bidang informatika dalam identifikasi suara dan pengenalan pola. Oleh karena itu, beberapa penelitian banyak yang menggunakan metode *HMM* seperti Ernawati yang menggunakan *hidden markov model* dalam prediksi pergerakan harga IHSG [5], kemudian Karnava yang menganalisis dan mengimplementasi *unsupervised hidden markov model* untuk penentuan jenis kata bahasa Indonesia [6], dan Farid yang menerapkan aplikasi algoritma Viterbi dalam *hidden markov model* untuk menganalisis tren pasar saham di bursa efek [7], dan penelitian lainnya.

Pada penelitian ini, permasalahan yang akan diselesaikan yaitu mencari *hidden state* yang optimal, dimana *hidden state* yang digunakan yaitu kecepatan angin dengan barisan observasi yaitu pasang surut air laut. Dan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut menggunakan algoritma *forward-backward*.

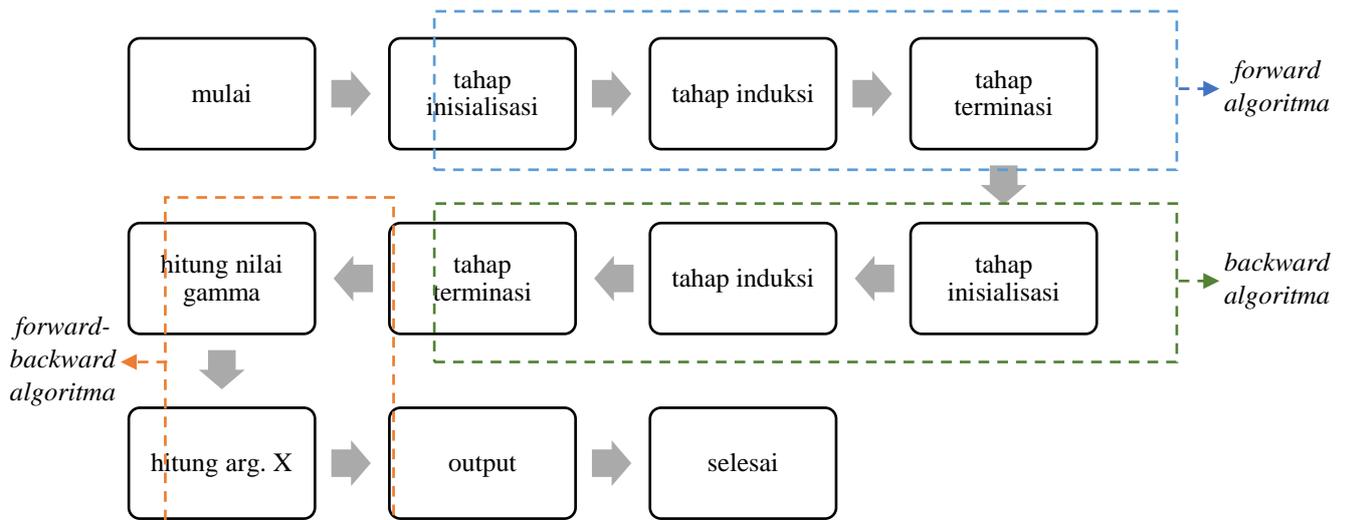
### Metode dan Bahan Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dengan menggunakan berbagai informasi terhadap materi-materi dan juga pengumpulan data. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini direpresentasikan dalam Gambar 1 berikut



**Gambar 1 .** Alur Penelitian

Pada Gambar 1 menunjukkan alur dari penelitian ini yaitu dimulai dari memasukkan data. Data yang digunakan adalah data pasang surut air laut dan kecepatan angin per jam selama satu tahun yaitu dimulai dari tanggal 1 Januari 2013 sampai dengan 31 Desember 2013 di wilayah pelabuhan Tanjung Perak Surabaya yang ditunjukkan pada Tabel 1. Setelah memasukkan data, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter HMM. Pada penelitian ini, terdapat tiga keadaan terobservasi yaitu pasang, surut, dan normal. Begitu pula pada *hidden state*, terdapat enam *state* yaitu udara ringan, angin sepoi lemah, angin sepoi lembut, angin sepoi sedang, angin sepoi segar, dan angin sepoi kuat. Setelah menentukan parameter-parameter yang digunakan, langkah selanjutnya adalah menentukan permasalahan HMM. Pada penelitian ini permasalahan yang akan dibahas adalah menentukan *hidden state* yang optimal (prediksi kecepatan angin) terhadap pasang surut air laut di wilayah pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, algoritma yang digunakan adalah algoritma *forward-backward*. Langkah dari algoritma tersebut adalah dengan menyelesaikan menggunakan algoritma *forward* dan algoritma *backward* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut,



Gambar 2 . Alur Algoritma

Pada Gambar 2 menunjukkan alur dari penyelesaian menggunakan algoritma *forward-backward*. Terdapat tiga tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan menggunakan algoritma *forward* yaitu tahap inisialisasi dengan menggunakan persamaan (1), tahap induksi dengan menggunakan persamaan (2), dan tahap terminasi dengan menggunakan persamaan (3). Setelah menyelesaikan dengan menggunakan algoritma *forward*, selanjutnya adalah menyelesaikan permasalahan dengan menggunakan algoritma *backward*. Terdapat tiga tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan menggunakan algoritma *backward* yaitu tahap inisialisasi dengan menggunakan persamaan (4), tahap induksi dengan menggunakan persamaan (5), dan tahap terminasi dengan menggunakan persamaan (6). Hasil dari perhitungan dengan menggunakan algoritma *forward* dan algoritma *backward* yaitu hasil perhitungan persamaan (3) dan (6) digunakan untuk perhitungan algoritma *forward-backward* pada persamaan (7) dan (8).

Tabel 1 . Contoh Data

Jam	Pasut			Angin	
	T.Pasut	S.Pasut	Ket. Pasut	Kec.Angin	Ket.Angin
1	2,4	0,9	Pasang	3	Udara ringan
2	2,2	0,7	Pasang	3	Udara ringan
3	1,9	0,4	Pasang	3	Udara ringan
4	1,4	-0,1	Surut	5	Sepoi lemah
5	1,0	-0,5	Surut	0	Udara ringan
6	0,7	-0,8	Surut	3	Udara ringan
7	0,5	-1,0	Surut	5	Sepoi lemah
8	0,4	-1,1	Surut	5	Sepoi lemah
9	0,6	-0,9	Surut	5	Sepoi lemah

Selanjutnya, bagian ini juga memuat beberapa teori dasar yang digunakan landasan pada penelitian ini:

#### A. Pasang Surut Air Laut

Pasang surut merupakan salah satu fenomena yang terjadi di laut. Pasang surut merupakan satu fenomena naik turunnya permukaan air laut yang disertai dengan gerakan horizontal dari massa air laut secara periodik [8]. Terjadinya pasang surut air laut disebabkan oleh adanya gaya tarik dari benda langit, dan yang paling utama yaitu matahari dan bulan. Gaya tarik gravitasi

bervariasi terhadap massa benda dan berbanding terbalik dengan jarak antara benda tersebut. Hal ini membuat bulan memiliki pengaruh yang besar terhadap pasang surut di bumi karena jarak bumi dan matahari jauh lebih besar jika dibandingkan dengan jarak bumi dan bulan. Oleh karena itu, pasang surut air laut disetiap tempat tidak sama (berbeda), tergantung pada posisi matahari dan bulan terhadap tempat tersebut.

## B. Angin

Angin merupakan udara yang bergerak dikarenakan adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi. Angin bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Angin juga merupakan besaran vektor yang mempunyai besar dan arah. Kecepatan angin dapat diukur dengan menggunakan anemometer [9]. Pada penelitian ini, kecepatan angin diklasifikasikan menjadi enam klasifikasi yang berdasarkan skala *beaufort* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 berikut

**Tabel 2 .** Klasifikasi Angin

Keadaan Angin	Gejala yang Ditimbulkan	Kecepatan Angin (Knot)
Udara Ringan	Arah angin ditunjukkan oleh arah hanyut asap, tetapi tidak oleh pengukuran arah angin	1-3
Angin Sepoi Lemah	Angin terasa pada muka, daun-daun menggerisik, alat pengukur arah angin mulai digerakkan angin	4-6
Angin Sepoi Lembut	Daun dan ranting kecil tetap bergerak, angin membentangkan bendera ringan	7-10
Angin Sepoi Sedang	Debu dan kertas naik ke atas, cabang kecil bergerak	11-16
Angin Sepoi Segar	Pohon kecil mulai bergoyang, timbul bentuk gelombang kecil pada perairan pendalaman	17-21
Angin Sepoi Kuat	Cabang besar bergerak, kawat telpon kendengaran berdesing, sulit memakai payung	22-27

## C. Hidden Markov Model

Rantai markov merupakan proses stokastik dengan ruang *state* diskrit dimana *state* yang sekarang bergantung pada *state* sebelumnya. Proses stokastik adalah himpunan dari peubah acak  $\{X_t, t \in T\}$  dimana  $T$  merupakan himpunan parameter dan  $X$  merupakan ruang *state*[4]. Pada dasarnya *hidden markov model* merupakan pengembangan dari rantai markov yang berupa model stokastik. Pada *HMM*, keadaan tidak dapat terlihat langsung meskipun parameter dari model sudah diketahui tapi model tersebut tetap tersembunyi dengan hasil keluaran atau *output* yang bergantung pada keadaan dapat terlihat.

### • Parameter HMM

Beberapa parameter yang digunakan dalam *hidden markov model* adalah sebagai berikut,

1.  $N$  yaitu jumlah dari keadaan tersembunyi (*hidden state*)
2.  $M$  yaitu jumlah dari keadaan terobservasi
3.  $A_{ij} = \{a_{ij}\} = P(X_{t+1} = q_j | X_t = q_i)$  dimana  $1 \leq i \leq N$  dan  $1 \leq j \leq N$  yaitu probabilitas transisi. Dimana  $A$  diperoleh dengan memperhatikan perpindahan dari *hidden state*
4.  $B = \{b_i(v_k)\} = P(O_t = v_k | X_t = q_i)$  dimana  $1 \leq i \leq N$  dan  $1 \leq k \leq M$  yaitu probabilitas observasi. Dimana  $B$  diperoleh dengan mengamati perubahan keadaan terobservasi
5.  $\pi = \{\pi_i\}, \pi_i = P(X_o = q_i)$  dimana  $1 \leq i \leq N$  dan  $0 \leq \pi_i \leq 1$

• Permasalahan HMM

Beberapa permasalahan dalam *hidden markov model* adalah sebagai berikut

1. Menghitung peluang observasi

Algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan masalah menghitung peluang observasi adalah algoritma maju (*forward algorithm*) atau algoritma mundur (*backward algorithm*).

▪ Algoritma *forward*

Secara umum, algoritma maju terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Tahap Inisialisasi

$$\alpha_1(i) = \pi(i)b_i(O_1) \quad (1)$$

dimana  $1 \leq i \leq N$ .

2. Tahap Induksi

Pada tahap induksi akan dihitung nilai  $\alpha$  pada saat  $t > 1$  dengan mensubstitusikan  $a_{ij}$  dan  $b_i(k) = P(O_t = k | X_t = i)$ , sehingga diperoleh

$$\alpha_{t+1}(j) = \left\{ \sum_{i=1}^N \alpha_t(i) a_{ij} \right\} b_j(O_{t+1}) \quad (2)$$

dimana,  $j = 1, 2, \dots, N$  dan  $t = 1, 2, \dots, T - 1$ .

3. Tahap Terminasi

Pada tahap terminasi akan dihitung semua penjumlahan peluang gabungan dari observasi dari *hidden state* jika diketahui model *HMM* sehingga peluang dari observasi tersebut dapat ditulis sebagai berikut,

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N \alpha_T(i) \quad (3)$$

▪ Algoritma *backward*

Secara umum, algoritma mundur hampir sama dengan algoritma maju. Perbedaan dari kedua algoritma ini terletak pada inisialisasi barisan observasi. Jika pada algoritma maju barisan observasinya berupa  $\{O_1, O_2, \dots, O_t\}$  maka pada algoritma maju menjadi  $\{O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T\}$ . Beberapa tahapan dari algoritma mundur adalah sebagai berikut

1. Tahap Inisialisasi

$$\beta_T(i) = 1 \quad (4)$$

dimana  $i = 1, 2, \dots, N$ .

2. Tahap Induksi

$$\beta_t(i) = \sum_{j=1}^N b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j) a_{ij} \quad (5)$$

dimana  $t = T - 1, T - 2, \dots, 1$  dan  $i = 1, 2, \dots, N$ .

3. Tahap Terminasi

$$P(O|\lambda) = \sum_{i=1}^N b_i(O_1) \pi(i) \beta_1(i) \quad (6)$$

2. Menentukan *hidden state* yang optimal

Algoritma *forward-backward* didefinisikan pada variabel berikut

$$\gamma_t(i) = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{P(O|\lambda)} = \frac{\alpha_t(i)\beta_t(i)}{\sum_{i=1}^N \alpha_t(i)\beta_t(i)} \quad (7)$$

dimana  $\alpha_t(i)$  merupakan hasil perhitungan algoritma *forward* dan  $\beta_t(i)$  merupakan hasil perhitungan algoritma *backward*.

Maka barisan *state* yang optimal ditentukan dengan persamaan berikut

$$X_t = \underset{1 \leq i \leq N}{\operatorname{argmax}} \gamma_t(i) \quad (8)$$

3. Menaksir parameter *HMM*

Masalah ketiga dalam *HMM* adalah menaksir parameter-parameter *HMM* atau mengubah parameter *HMM*,  $\lambda = (A, B, \pi)$  sehingga  $P(O|\lambda)$  menjadi optimal/maksimal.

Algoritma yang digunakan untuk optimasi parameter *HMM* adalah algoritma *Baum-Welch*. Dalam algoritma *Baum-Welch*, terdapat empat variabel yang telah didefinisikan yaitu, variabel maju (*forward*), variabel mundur (*backward*), variabel  $\xi_t(i, j)$ , dan variabel  $\gamma_t(i)$ . Dengan tahapan-tahapan penyelesaian sebagai berikut:

1. Mendefinisikan variabel maju (*forward*) dan variabel mundur (*backward*)  
Variabel maju (*forward*) dan variabel mundur (*backward*) dalam mengoptimasi parameter *HMM* didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{cases} \alpha_t(i) = P(O_1, O_2, \dots, O_t, X_T = i | \lambda) \\ \beta_t(i) = P(O_{t+1}, O_{t+2}, \dots, O_T, X_t = i | \lambda) \end{cases}$$

2. Mendefinisikan variabel  $\xi_t(i, j)$   
 $\xi_t(i, j)$  merupakan probabilitas proses berada pada *state-i* pada waktu *t* dan berada pada *state-j* pada waktu *j* jika diketahui barisan observasi dan model sebagai berikut:

$$\xi_t(i, j) = P(X_t = i, X_{t+1} = j | O, \lambda) \quad (9)$$

Dengan menggunakan definisi peluang bersyarat, maka variabel  $\xi_t(i, j)$  dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\xi_t(i, j) = \frac{\alpha_t(i) a_{ij} b_j(O_{t+1}) \beta_{t+1}(j)}{P(O | \lambda)} \quad (10)$$

3. Mendefinisikan variabel  $\gamma_t(i)$   
Setelah mendapatkan nilai  $\xi_t(i, j)$ , dapat dihitung peluang proses berada pada *state-i* pada waktu *t* yaitu  $\gamma_t(i)$  dengan menjumlahkan  $\xi_t(i, j)$  atas *j* sehingga diperoleh

$$\gamma_t(i) = \sum_{j=1}^N \xi_t(i, j) \quad (11)$$

4. Menaksir parameter *HMM* penaksir parameter  $\pi$  dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{\pi}(i) = \gamma_1(i) \quad (12)$$

Penaksir untuk  $\alpha_{ij}$  dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{\alpha}_{ij} = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \xi_t(i, j)}{\sum_{t=1}^{T-1} \gamma_t(i)} \quad (13)$$

Penaksir tersebut diperoleh dengan membagi jumlah transisi dari *state-i* ke *state-j* dengan total seluruh transisi dari *state-i*. Begitu pula untuk penaksir  $b_i(j)$  dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{b}_i(j) = \frac{\sum_{t=1, O_t=j}^T \gamma_t(j)}{\sum_{t=1}^T \gamma_t(j)} \quad (14)$$

Penaksir tersebut diperoleh dengan membagi jumlah *state* yang menghasilkan observasi *j* pada saat proses berada pada *state-i* dengan jumlah seluruh proses yang berada pada *state-i*.

## Hasil dan Pembahasan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, hal pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah memasukkan data. Data yang digunakan adalah pasang surut air laut dan kecepatan angin perjam selama tiga tahun. Selanjutnya adalah menentukan parameter-parameter *HMM* yang ditunjukkan pada tabel berikut,

**Tabel 3 .** Matriks Transisi ( $A_{ij}$ )

	<b>Udara Ringan</b>	<b>Sepoi Lemah</b>	<b>Sepoi Lembut</b>	<b>Sepoi Sedang</b>	<b>Sepoi Segar</b>	<b>Sepoi Kuat</b>
Udara ringan	0,708	0,256	0,029	0,007	0,0007	0,0000
Sepoi lemah	0,284	0,456	0,211	0,049	0,0008	0,0000
Sepoi lembut	0,057	0,268	0,446	0,224	0,0040	0,0005
Sepoi sedang	0,02	0,061	0,248	0,644	0,0273	0,0006
Sepoi segar	0,026	0,051	0,051	0,602	0,2690	0,0000
Sepoi kuat	0,000	0,500	0,000	0,000	0,0000	0,0000

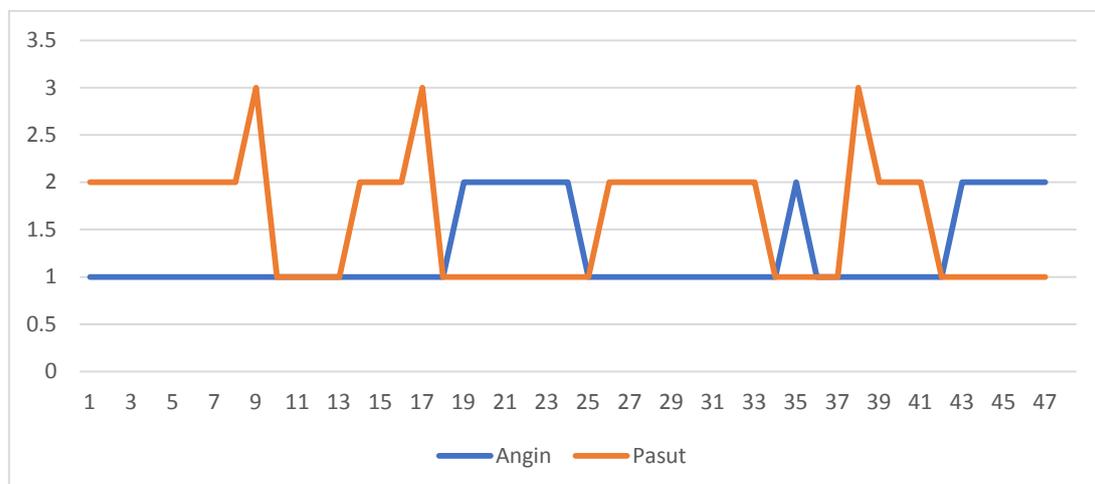
**Tabel 4 . Probabilitas Observasi ( $B$ )**

	Pasang	Surut	Normal
Udara ringan	0,4590	0,455	0,086
Sepoi lemah	0,5070	0,421	0,072
Sepoi lembut	0,5150	0,42	0,065
Sepoi sedang	0,4521	0,468	0,079
Sepoi segar	0,5130	0,397	0,089
Sepoi kuat	0	1	0

**Tabel 5 . Keadaan Awal ( $\pi$ )**

Udara Ringan	Sepoi Lemah	Sepoi Lembut	Sepoi Sedang	Sepoi Segar	Sepoi Kuat
0,322	0,275	0,206	0,188	0,009	0,00022

Tabel 3 menunjukkan matriks transisi dari data yang telah dimasukkan. Pada Tabel 3 menunjukkan peluang terjadinya perpindahan antara *hidden state*. Perpindahan *state* dari udara ringan ke udara ringan sebesar 0,708, perpindahan *state* dari udara ringan ke angin sepoi lemah sebesar 0,284, dan perpindahan *state* dari udara ringan ke angin sepoi lembut sebesar 0,057, begitu pula seterusnya. Pada Tabel 4 menunjukkan peluang terjadinya *observasi* pada *hidden state* dari data yang telah dimasukkan. Peluang terjadi air pasang ketika terjadi udara ringan sebesar 0,459, peluang terjadinya air pasang ketika terjadi angin sepoi lemah adalah sebesar 0,507, dan peluang terjadinya air pasang ketika terjadi angin sepoi lembut sebesar 0,515, begitu pula seterusnya. Pada Tabel 5 menunjukkan peluang keadaan awal dari *hidden state*. Peluang terjadinya udara ringan sebesar 0,322, peluang terjadinya angin sepoi lemah sebesar 0,275, peluang terjadinya angin sepoi lembut sebesar 0,2066, peluang terjadinya angin sepoi sedang sebesar 0,188, peluang terjadinya sepoi segar sebesar 0,009, dan peluang terjadinya angin sepoi kuat sebesar 0,00022. Setelah menentukan parameter, langkah selanjutnya adalah memasukkan data *observasi*. Pada penelitian ini menggunakan 48 data *observasi* yaitu data pengamatan pasang surut air laut 48 jam kedepan. Selanjutnya, data-data yang telah dimasukkan diproses dengan menggunakan algoritma *forward* dan algoritma *backward*. Pada penelitian ini, pengolahan data menggunakan Matlab sehingga diperoleh hasil sebagai berikut,



**Gambar 3 . Prediksi Angin**

Pada Gambar 3 menunjukkan hasil dari proses algoritma *forward-backward* yaitu pada jam satu sampai jam delapan (1 Januari 2014, 01.00 – 08.00 WIB) terjadi air surut dengan disertai udara ringan, jam sembilan (1 Januari 2016, 09.00 WIB) terjadi air normal disertai udara ringan, jam sepuluh sampai jam tiga belas (1 Januari 2016, 10.00-13.00 WIB) terjadi air pasang disertai udara ringan, jam empat belas sampai jam enam belas (1 Januari 2016, 14.00-16.00 WIB) terjadi air surut disertai udara ringan, dan begitu seterusnya.

### Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini direpresentasikan pada tabel berikut:

**Tabel 6 . Kesimpulan**

Tanggal	Jam	Pa-Sut	Angin
<b>1 Januari 2014</b>	01.00-08.00	Surut	Udara ringan
	09.00	Normal	Udara ringan
	10.00-13.00	Pasang	Udara ringan
	14.00-16.00	Surut	Udara ringan
	17.00	Normal	Udara ringan
	18.00	Pasang	Udara ringan
	19.00-24.00	Pasang	S. Lemah
<b>2 Januari 2014</b>	01.00	Pasang	Udara ringan
	02.00-09.00	Surut	Udara ringan
	10.00	Pasang	Udara ringan
	11.00	Surut	S. Lemah
	12.00-13.00	Pasang	Udara ringan
	14.00	Normal	Udara ringan
	15.00-17.00	Surut	Udara ringan
	18.00	Pasang	Udara ringan
	19.00-24.00	Pasang	S. Lemah

Pada Tabel 6 menunjukan kesimpulan dari penelitian ini. Pada tanggal 1 Januari 2014, air pasang disertai udara ringan terjadi pada jam 10.00-13.00 WIB dan 18.00 WIB. Air pasang disertai angin sepoi lemah terjadi pada jam 19.00-24.00 WIB. Air surut disertai udara ringan terjadi pada jam 01.00-08.00 WIB dan 14.00-16.00 WIB. Air normal disertai udara ringan terjadi pada jam 09.00 WIB dan 11.00 WIB. Pada tanggal 2 Januari 2014, air pasang disertai udara ringan terjadi pada jam 01.00 WIB, 10.00 WIB, 12.00-13.00 WIB, dan 18.00 WIB. Air pasang disertai angin sepoi lemah terjadi pada jam 19.00-24.00 WIB. Air surut disertai angin sepoi lemah terjadi pada jam 11.00 WIB. Air surut disertai udara ringan terjadi pada jam 02.00-09.00 WIB dan 15.00-17.00 WIB. Air normal disertai udara ringan terjadi pada jam 14.00 WIB.

### Daftar Pustaka

- [1] Triatmodjo, B., Pelabuhan, Yogyakarta: Beta Offset, 1996.
- [2] Wirayuda, A., Pasang Surut Air Laut Sebagai metode Penentuan Awal Bulan islam Menurut Jamaah An-Nadzir Kec. Bontomarannu Kab. Gowa Perspektif Ilmu Falak dan Oseanografi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2017.
- [3] Adyanti, D. A., Asyhar, A. H., Novitasari, D. C. R., Lubab, A., and Hafiyusholeh, M., *Forecast Marine Weather on Java Sea using Hybrid Methods : Time Series-ANFIS, 2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2017. 1-6.
- [4] Firdaniza, Gusriani, N., and Akmal, Hidden Markov Model, *Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika*, Jawa Barat, 2006.
- [5] Ernawati, Prediksi Pergerakan Harga IHSG Menggunakan Hidden Markov Model, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2015.

- [6] Karvana, K. G. M., Atastina, I., and Gozali, A. A., Analisis dan Implementasi *Unsupervised Hidden Markov Model* untuk Penentuan Jenis Kata Bahasa Indonesia, Universitas Telkom, Jakarta, 2012.
- [7] Farid, Z., Aplikasi Algoritma Viterbi dalam Hidden Markov Model untuk Menganalisis Tren Pasar Saham di Bursa Efek (Studi Kasus di PT Astra Agro Lestari, Tbk), Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2015.
- [8] Qhomariyah, L. and Yuwono, Analisa Hubungan Antara Pasang Surut Air Laut dengan Sedimentasi Yang Terbentuk," *Jurnal Teknik ITS*, 2016. 1-3.
- [9] Aji, D. R. and Cahyadi, M. N., Analisa Karakteristik Kecepatan Angin dan Tinggi Gelombang Menggunakan Data Satelit Altimetri, *GEOID*, 2015. 75-78.
- [10] Mamonto, S. W., Langi, Y. A., dan Rindengan, A. J., Penerapan Hidden Markov Model pada Harga Saham, *JdC*, 2016. 35-41.
- [11] Hassan, M. R., *A Combination of Hidden Markov Model And Fuzzy Model for Stock Market Forecasting*, *Elsevier - Neurocomputing*, 2009.3439-3446.
- [12] Habibie, M. N., Sasmito, A., and Kurniawan, R., Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku, Puslitbang BMKG, Jakarta, 2011.