



Jenis Artikel: *orginal research/review article*

## Mengidentifikasi Besar Kecepatan Angin dan Energinya Melalui Data Ncep/Ncar *Reanalysis* dan 5 Stasiun Bmkg di Provinsi Aceh

Mulyadi Abdul Wahid<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh

*Corresponding e-mail:* Mulyadi.abdulwahid@gmail.com

### KATA KUNCI:

kecepatan, energi,  
daya, angin muson

**ABSTRAK.** Telah dilakukan kajian mengenai kecepatan angin dan energinya dengan menggunakan data-data NCEP/NCAR Reanalysis dan BMKG yang tersebar di Provinsi Aceh. Kecepatan angin merupakan besaran yang sangat penting untuk direkam dan dihitung energi kinetiknya. Tujuan dari penelitian ini adalah melihat data angin secara *long-term* untuk dapat menghitung energinya, dimana energi angin ini sangat bermanfaat apabila berpotensi menjadi energi listrik. Jenis penelitian ini adalah deskriptif. Dari hasil penelitian ini didapati bahwa Aceh mengalami angin Muson Timur Laut (Angin Timur) dan Muson Barat Daya (Angin Barat). Muson Timur terjadi selama bulan Desember hingga Maret sedangkan Muson Barat terjadi dari bulan Juni sampai September. Kecuali di Sabang, pada Muson Barat kecepatan anginnya relatif lebih besar yaitu lebih dari 2 m/s sedangkan pada Muson Timur angin di bagian timur kurang lebih 2 m/s. Sementara bulan April, Mei, Oktober, dan November merupakan waktu-waktu peralihan musim, dimana kecepatan anginnya relatif kecil yaitu dibawah 2 m/s. Sedangkan di Sabang, kecepatan angin di Sabang berkisar dari 1 m/s sampai dengan 3.5 m/s jauh lebih besar daripada daerah-daerah yang lain. Begitu juga dengan energinya, daya angin di Sabang jauh lebih besar dari daerah-daerah lain di Provinsi Aceh yang mencapai 20 Watt/m<sup>2</sup> pada waktu-waktu tertentu. Sedangkan pada wilayah lain hanya mencapai 10% dari Sabang.

Diserahkan: Januari 2017

Direvisi: Maret 2017

Diterima: April 2017

Diterbitkan: Juni 2017

Terbitan daring: 16 Juli 2017

## 1. Pendahuluan

Pentingnya fenomena angin ini diabadikan berulang-ulang oleh Allah SWT di dalam Al-Quran dalam banyak ayat yang tersebar dalam beberapa surat, dimana, angin didatangkan bisa untuk menyampaikan rahmat, ataupun juga untuk membawa musibah. Fakta di atas menjadi salah satu motivasi bagi saya untuk meneliti mengenai angin. Di era modern, sekarang ini manusia telah mendapati bahwa angin juga merupakan sebagai sumber daya yang sangat berharga untuk kehidupan manusia yaitu sumber energi. Penemuan ini belum dapat dijangkau oleh umat manusia pada masa-masa sebelumnya. Al Quran sendiri, secara tersirat telah mengungkapkan bahwa betapa banyak benda-benda langit, dalam hal ini menurut peneliti juga termasuk angin, ditundukkan kepada manusia untuk diambil manfaat, yaitu dalam surat Al-Jasyiah, ayat 13 yang berbunyi:

وَسَخَّرَ لَكُمْ مَا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِنْهُ  
إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ

Artinya :

*“Dan Dia telah menundukkan untukmu apa yang di langit dan apa yang di bumi semuanya, (sebagai rahmat) daripada-Nya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang berfikir.”*

Energi merupakan sumber daya yang sangat dibutuhkan oleh manusia. Menundukkan angin untuk memanfaatkan energinya merupakan sebuah penemuan yang sangat penting dalam perkembangan keilmuan manusia modern. Disamping itu, energi angin juga memiliki sifat positif lainnya yaitu ramah terhadap lingkungan, dimana, ini juga merupakan tuntunan yang diajarkan oleh agama Islam. Oleh karena itu, angin dan segala sifatnya, diantaranya adalah kecepatan dan energinya, penting untuk diteliti secara mendalam.

Kita sudah sering mendengar ataupun membaca dalam berbagai literatur bahwa Aceh atau Indonesia pada umumnya memiliki kekayaan sumber daya alam, diantara termasuk kekayaan sumber energi, tinggal saja kegigihan kita untuk mengeksplorasinya. Salah satu sumber energi yang kita miliki adalah angin, dimana negara-negara maju telah berhasil mengembangkannya dengan sangat baik. Secara umum kita telah memahami bahwa energi angin di Aceh atau di Indonesia pada umumnya relatif moderat (menurut beberapa referensi yang ada), akan tetapi seiring dengan kemajuan teknologi, energi yang bahkan moderat itu tersebut semakin memungkinkan untuk dapat dimanfaatkan berkat teknologi konversi yang semakin efisien. Posisi Aceh yang terletak di antara dua benua yaitu Asia dan Australia membuat distribusi angin di Indonesia selalu ada sepanjang tahun dan berhembus dalam siklus tahunan. Siklus tahunan ini mengalami dua periode muson yang berbeda.

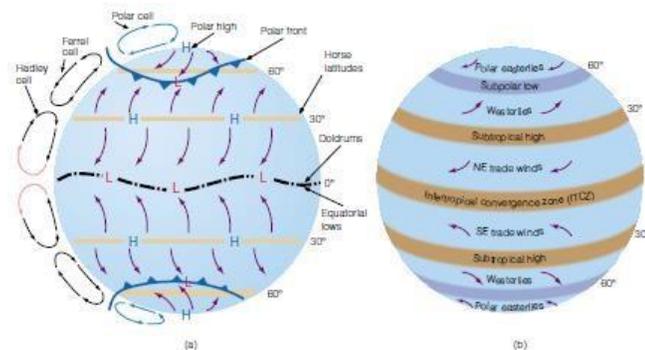
Berdasarkan pemahaman tersebut diatas maka penelitian bertujuan untuk mengkaji lebih dalam mengenai kecepatan angin dan energinya berdasarkan data-data kecepatan angin yang tersedia, diantaranya adalah data NCEP/NCAR Reanalysis dan data BMKG.

## 2. LANDASAN TEORITIS

Angin adalah udara yang bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah. Perbedaan tekanan secara spasial disebabkan oleh berbagai macam faktor, namun diantara faktor-faktor tersebut, perbedaan temperatur merupakan faktor yang sangat dominan. Matahari memainkan peranan yang sangat penting dalam mendistribusikan temperatur ke seluruh permukaan bumi. Bentuk bumi yang bulat, gerak bumi terhadap matahari baik rotasi maupun evolusi memodifikasi pola angin sedemikian rupa sehingga kita mengenal pola angin yang ada di permukaan bumi hingga sekarang ini. Variasi baik secara spasial

maupun temporal membentuk pola angin menjadi siklus-siklus seperti harian, bulanan, dan lain-lain. Banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi angin sehingga angin bervariasi, diantaranya ada perbedaan musim, gaya Coriolis, dan lain-lain.

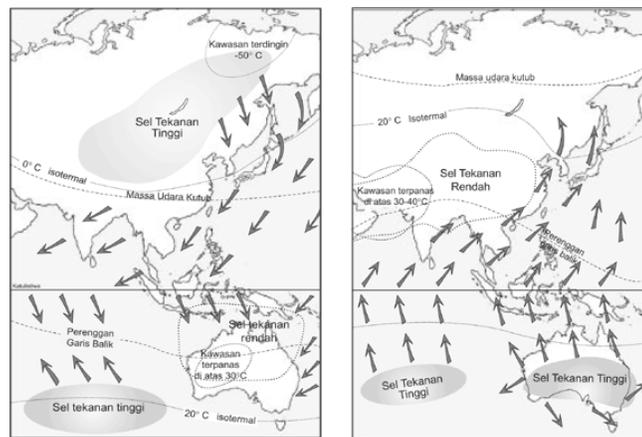
Dari pengaruh gaya-gaya tersebut sehingga terjadi beberapa formasi angin diantaranya yang relatif dominan adalah angin pasat dan angin muson. Secara umum, sepanjang tahun, angin berhembus seperti pada gambar 1. Angin di wilayah tropis berhembus ke arah khatulistiwa kemudian di wilayah ini terjadi konveksi sehingga udara bersirkulasi ke atas karena pengaruh panas di permukaan bumi sehingga angin terjadi pemuain, sedangkan pada wilayah sub tropis dan kutub juga mempunyai siklus sendiri. Siklus ini disebabkan oleh 2 faktor yang sangat penting, pertama adalah efek Coriolis yang terjadi karena rotasi bumi, dan pemuain serta pemampatan udara yang disebabkan oleh perbedaan temperatur sehingga merubah densitas udara, yang ringan naik ke atas dan yang berat akan turun ke bawah.



**Gambar 1.** (a) Gambar angin pasat ideal di atas permukaan bumi, (b) nama sub angin pasat dan daerah-daerah sistem tekanan yang didefinisikan

Sumber : Ahrens, C. D. (2001)

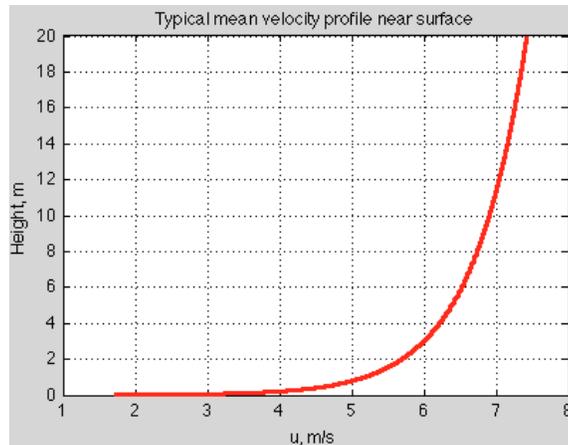
Selain angin pasat, kita juga mengenal angin yang terjadi dalam skala lebih kecil yaitu angin muson. Angin muson terjadi di berbagai belahan dunia tetapi tidak di semua wilayah. Arah dan intensitas angin muson selalu berubah setiap enam bulan sekali mengikuti perubahan temperatur di berbagai belahan dunia akibat dari perbedaan musim (musim panas dan musim dingin). Angin muson juga terbentuk di Indonesia yang merupakan daerah tropis walaupun tidak ada perubahan musim panas dan dingin tetapi disebabkan oleh keadaan atmosfer wilayah sekitar. Ada berbagai wilayah yang sangat terkenal dengan musonnya seperti laut utara India, asia, dan lain-lain. Pada gambar 2 di bawah ini dapat dilihat dengan jelas angin muson pada dua musim yang berbeda.



**Gambar 2.** Angin muson

Sumber : <https://maximos62.files.wordpress.com/2015/09/monsoons.jpg>

Kalau ditinjau secara vertikal, angin juga bervariasi Pola ini dapat kita lihat pada gambar 3 di bawah ini.



**Gambar 3.** Distribusi angin rata-rata secara vertikal

Sumber :

<http://scienceofdoom.com/2014/08/23/turbulence-closure-and-parameterization/>

Kecepatan angin meningkat terhadap ketinggian di atas permukaan bumi. Pada permukaan bumi, hadir gaya gesekan yang meredam kecepatan angin menjadi sangat kecil sehingga menuju nol. Pada ketinggian 10 meter ke atas, angin sudah dianggap mendekati stabil karena gradiennya menjadi sangat kecil.

Sementara itu, energi yang dimiliki oleh gerak angin adalah energi kinetik, yang mana energi ini sebanding dengan kuadrat kecepatannya. Konversi energi kinetik ini untuk menjadi energi listrik sekarang sudah sangat masif dikembangkan di negara-negara yang telah maju diantaranya adalah Jerman. Secara kuantitatif, energi kinetik angin dapat diformulasikan sebagai berikut.

Energi kinetik secara umum :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1)$$

dimana  $E_k$  adalah energi kinetik (satunya Joule),  $m$  adalah massa (satunya kg), dan  $v$  adalah kecepatan (satunya m/s). Untuk massa angin (benda yang bersifat kontinyu), pendekatannya lebih cenderung ke massa jenis, sehingga :

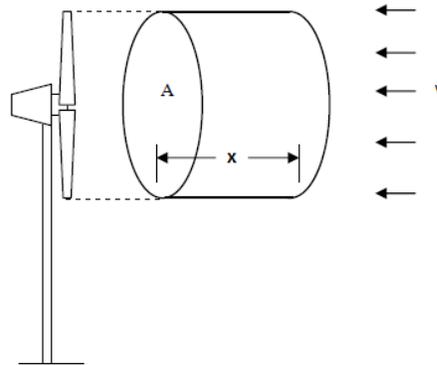
$$m = \rho V \quad (2)$$

dimana  $\rho$  adalah massa jenis udara (satunya  $\text{kg/m}^3$ ). Sedangkan  $V$  adalah volume (satunya  $\text{m}^3$ ). Persamaan 1 menjadi :

$$E_k = \frac{1}{2} \rho V v^2 \quad (3)$$

Persamaan 3 di atas merupakan persamaan energi kinetik dari sebuah parsel udara yang mempunyai volume  $V$ . Massa jenis udara sifatnya tidak homogen, tetapi bervariasi juga terhadap ruang dan waktu. Variabel ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya adalah kelembaban, suhu udara, dan lain-lain (Patel, M. R., 1942) Untuk keperluan konversi energi kinetik angin menjadi energi listrik, hanya bisa diekstrak pada sejumlah permukaan tertentu, yang berupa permukaan yang disapu oleh baling-baling turbin angin (seperti terlihat pada gambar). Persamaan tersebut dapat Kemudian volume ( $V$ ) dipecahkan lagi menjadi  $V = Ax$ , dimana  $A$  adalah luas permukaan yang disapu baling-baling turbin angin (satunya  $\text{m}^2$ ) dan  $x$  adalah lebar

dari parcel udara (satunya m). Lebar parcel udara  $x$  dapat dibuat pendekatan dengan variabel waktu yaitu  $x = vt$ , dimana  $v$  adalah kecepatan dan  $t$  adalah waktu (satunya s).



**Gambar 4.** Gerakan sebuah parcel udara (angin) menuju turbin angin  
(Sumber : Mathew, S., 2006)

Kemudian persamaan 3 menjadi :

$$E_k = \frac{1}{2} \rho A v^3 t \quad (4)$$

Tahap terakhir, energi kinetik (poers. 3) dapat diekspresikan dalam bentuk daya, yaitu :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (5)$$

Dimana satuan daya adalah Joule/detik atau Watt. Persamaan 5 inilah yang menjadi acuan dalam konversi energi kinetik angin menjadi energi listrik.

### 3. METODOLOGI

Dalam penelitian ini digunakan data angin *NCEP/NCAR Reanalysis* (Kalnay et al., 1996). Data ini merupakan produk dari hasil kerjasama antara *National Centers for Environmental Prediction (NCEP)* dan the *National Center for Atmospheric Research (NCAR)*. Data ini tersedia online dan hanya diizinkan untuk dipergunakan dalam keperluan akademik dan riset. Yang dimaksud dengan data reanalisis adalah data yang dihasilkan dari hasil pengukuran dengan menggunakan berbagai instrumen seperti stasiun-stasiun cuaca (weather stations), kapal, pesawat terbang, satelit, dan model numerik untuk ramalan cuaca. Hasil gabungan berbagai macam data tersebut diolah dengan metode ilmiah menjadi data akhir yang disebut dengan data reanalisis. Sebelum dianalisis, data-data yang dikumpulkan dari berbagai instrumen tersebut diukur pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut. Diasumsikan bahwa kecepatan angin pada ketinggian tersebut sudah lebih stabil dan ini sudah dijelaskan pada gambar 3 di atas. Kemudian data ini diinterpolasi ke daerah-daerah yang digunakan yaitu Aceh. Kelemahan data ini adalah resolusinya yang rendah tetapi disamping itu juga punya kelebihan yaitu tersedia dalam skala waktu yang sangat lengkap dan mengcover area yang sangat luas.

Selain itu, kita juga menggunakan data dari lima stasiun Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yang tersebar di seluruh Provinsi Aceh. Stasiun tersebut terdiri dari empat stasiun meteorologi, satu stasiun klimatologi. Kelima stasiun ini merekam data angin sepanjang tahun. Sedangkan 2 stasiun lagi yaitu Mata Ie - Aceh Besar dan Rembele - Bener Meriah khusus diperuntukkan untuk merekam data seismik. Dalam penelitian ini, data yang disajikan adalah yang berasal dari stasiun 1 sampai dengan stasiun 5, seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 5.** Stasiun meteorologi dan klimatologi BMKG di Provinsi Aceh yaitu (1) SM Sabang, (2) SM Blang Bintang, (3) SK Indrapuri, (4) SM Lhoksumawe, dan (5) SM Meulaboh. Sedangkan 2 stasiun lagi yang tidak diberikan nomor adalah merupakan stasiun geofisika dan tidak merekam data angin.

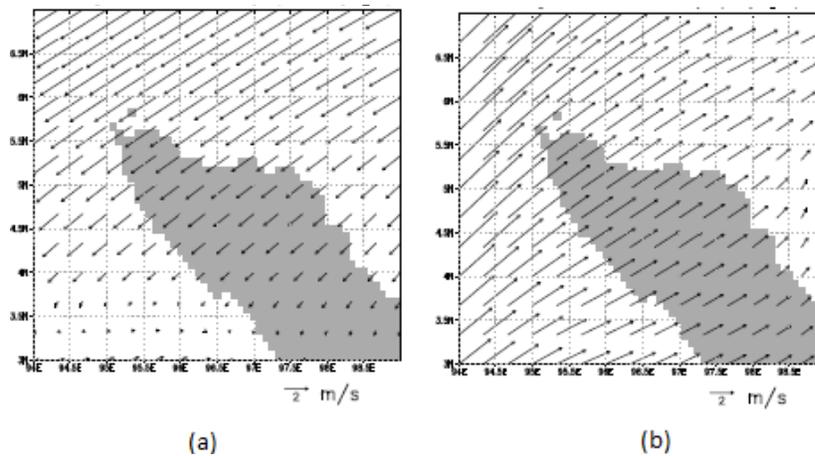
(Sumber : diedit dari Google Maps)

Setelah semua tahap diatas dilakukan baru data-data tersebut diolah kembali untuk menghitung energi yang dimiliki oleh angin tersebut dalam bentuk energi kinetik.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data NCEP/NCAR Reanalysis dapat dilihat bahwa provinsi Aceh pada musim dingin boreal mengalami angin muson yang berhembus dari timur laut sedangkan pada musim panas boreal angin muson berhembus dari barat daya, angin kencang pada periode ini sangat dikenal oleh masyarakat Aceh dengan nama angin barat. Secara umum angin ini dikendalikan oleh berbagai gaya, namun siklus muson ini secara dominan dipengaruhi oleh gaya perbedaan tekanan (*pressure gradient*) secara spasial. Ini terbukti dari perubahan hembusan angin mengikuti perubahan musim yaitu musim dingin dan musim panas baik di belahan bumi bagian utara maupun selatan. Dalam siklus tahunan ini, hembusan angin bervariasi setiap 6 bulan, dimana periode 6 bulanan ini dikenal dengan angin muson seperti yang telah disebutkan di atas. Walaupun Aceh terletak pada daerah tropis dimana kita tau bahwa tidak terjadinya perubahan musim, tetapi angin yang berhembus di atas wilayah Aceh merupakan angin yang bergerak dari belahan dunia yang satu ke belahan dunia yang lain.

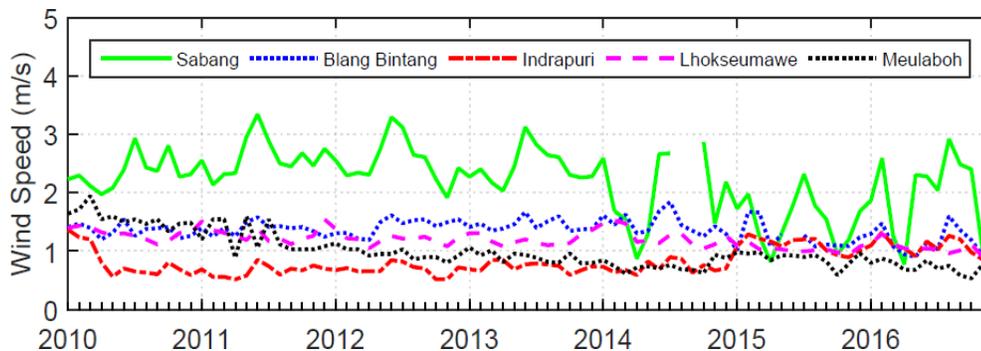
Untuk lebih detail, informasi mengenai siklus angin satu tahun penuh, secara klimatologi, diambil dari data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dari tahun 2010 hingga tahun 2016 dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 6.** Klimatologi vektor angin (2010-2016) pada (a) bulan Januari dan (b) bulan Agustus.

Dari gambar diatas terlihat bahwa bulan Januari dan Agustus masing-masing mewakili angin muson yang berbeda yaitu angin Timur laut/*Northeast Monsoon* (dikenal secara lokal dengan Muson Timur) dan angin Muson Barat Daya/*Southwest Monsoon* (dikenal secara lokal dengan Barat). Kalau kita bandingkan kekuatan angin antara dua muson yang berbeda tersebut maka dapat kita lihat pada gambar bahwa Muson Barat relatif lebih besar kecepatannya dimana pada Muson Timur angin di bagian timur kurang lebih 2 m/s sedangkan pada Muson Barat angin di bagian barat mencapai lebih dari 2 m/s. Menariknya kalau kita perhatikan di bagian ujung Provinsi Aceh yaitu Sabang memiliki kecepatan angin yang relatif stabil pada kedua 2 muson yang berbeda. Angin Muson Timur terjadi selama bulan Desember hingga Maret sedangkan Muson Barat terjadi dari bulan Juni sampai September. Sedangkan bulan April, Mei, Oktober, dan November merupakan waktu-waktu peralihan musim, dimana kecepatan angin pada bulan-bulan perubahan ini adalah relatif kecil yaitu dibawah 2 m/s.

Seperti telah disebutkan diatas bahwa untuk keperluan data 2D diambil dari NCEP/NCAR Reanalysis, sedangkan data 1D dikumpulkan dari BMKG. Pada gambar berikut ini kita akan menampilkan data yang diperoleh dari 5 stasiun BMKG yang tersebar di provinsi Aceh yang mengukur data meteorologi. Data ini sangat penting karena merupakan data pengukuran langsung. Walaupun data ini hanya berupa 1D yaitu satu titik, namun data ini dapat diasumsikan mewakili sebuah luasan wilayah di stasiun dan sekitarnya.

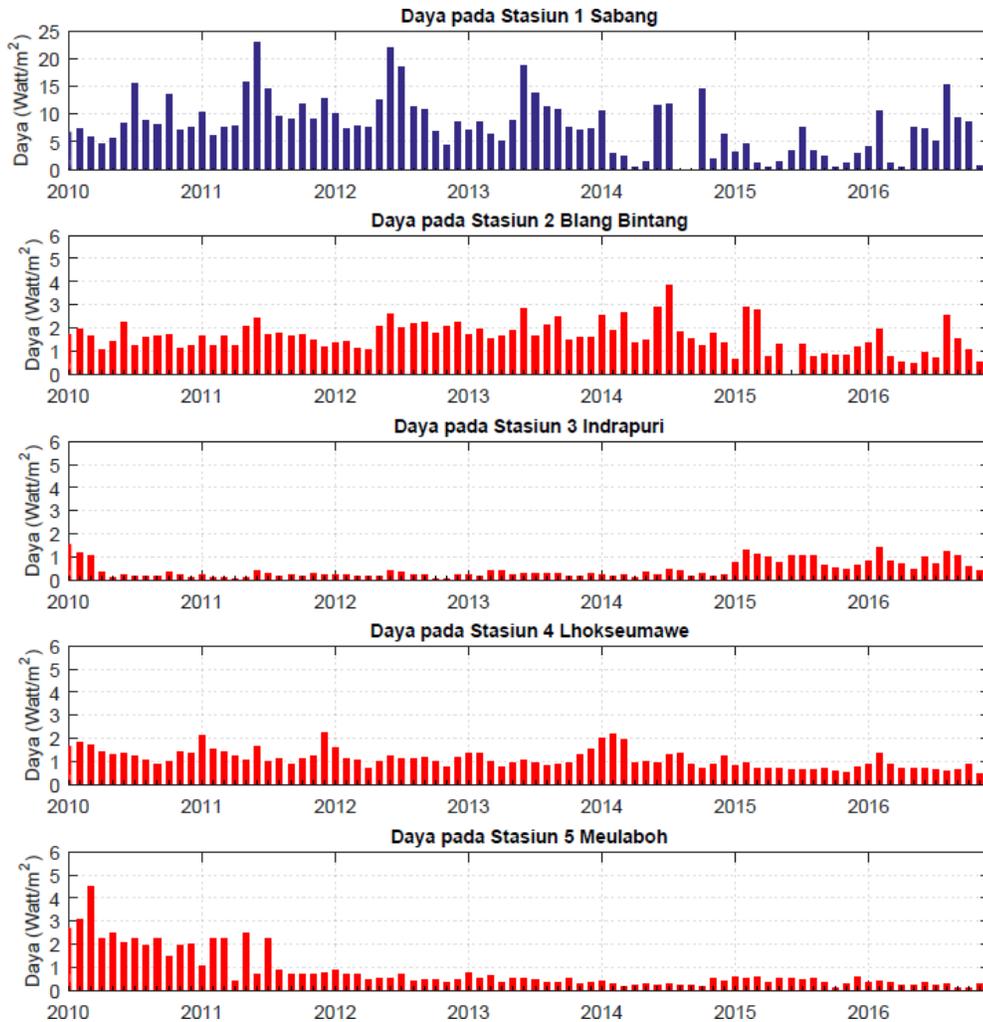


**Gambar 7.** Kecepatan angin yang berasal dari data BMKG pada kelima stasiun yaitu mulai dari tahun 2010 sampai dengan 2016.

Gambar diatas memperlihatkan kecepatan angin rata-rata bulanan dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2016. Diantara kelima stasiun tersebut Sabang merupakan daerah yang dengan kontras menunjukkan potensi energi angin dengan kecepatan jauh melampaui daerah-daerah lainnya di Provinsi Aceh, hal ini mempertegas penjelasan sebelumnya dengan menggunakan data 2D dari NCEP/NCAR Reanalysis. Kecepatan angin di Sabang berkisar dari 1 m/s sampai dengan 3.5 m/s sedangkan di wilayah yang lain berkisar antara 0.5 m/s sampai dengan 2 m/s. Dibawah sabang, wilayah yang memiliki angin relatif lebih besar adalah Blang Bintang, kemudian Lhokseumawe, Meulaboh, dan yang terakhir adalah Indrapuri.

Daerah Meulaboh yang selama ini sangat populer dengan musim baratnya (Muson Barat Daya) yang relatif sangat kencang ternyata hasil rekaman dari data BMKG tidak menunjukkan lebih besar potensinya dari daerah lain. Walaupun demikian, tidaklah cukup satu stasiun data untuk menyimpulkan kebenaran yang mutlak seratus persen, tetapi memerlukan rekaman data-data lain di daerah sekitarnya dan masih memerlukan studi lebih lanjut kedepannya.

Selanjutnya data kecepatan angin pada masing-masing stasiun kemudian digunakan untuk menghitung energi atau daya yang dimiliki oleh angin, dimana daya inilah yang menjadi produk akhir dari sumber energi angin. Daya ini kemudian dapat dikonversi menjadi daya listrik dengan menggunakan teknologi konversi sehingga langsung dapat digunakan oleh konsumen. Menurut Mathew (2006), daya dapat dihitung dengan rumus  $P = \frac{1}{2} \rho A v^3$ , dimana  $\rho$  adalah massa jenis udara (satuannya  $\text{kg/m}^3$ ),  $v$  adalah kecepatan angin (m/s), dan  $A$  luas permukaan *wind turbine* ( $\text{m}^2$ ). Massa jenis udara sebenarnya tidak homogen, tetapi bervariasi juga terhadap ruang dan waktu, tetapi dalam penelitian ini kita anggap homogen. Variabel ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya adalah kelembaban, suhu udara, dan lain-lain (Patel, M. R., 1942).



**Gambar 8.** Daya angin per luas permukaan ( $\text{Watt/m}^2$ ) dihitung dari data kecepatan angin mulai dari tahun 2010 sampai dengan 2016 pada kelima stasiun. Skala pada stasiun satu (biru) berbeda dengan stasiun yang lain karena daya angin jauh lebih besar daripada stasiun-stasiun yang lain.

Pada gambar diatas dapat kita lihat bahwa Sabang memiliki potensi energi atau daya angin yang jauh lebih besar dari daerah-daerah lain di Provinsi Aceh. Dayanya bisa mencapai  $20 \text{ Watt/m}^2$  pada waktu-waktu tertentu. Sedangkan pada wilayah lain hanya mencapai 10% dari Sabang.

## 5. KESIMPULAN

Angin yang berhembus di Provinsi Aceh merupakan manifestasi dari berbagai macam gaya pembangkitnya (*driving forces*). Variasi hembusan angin sangat jelas terlihat membentuk siklus tahunan dimana setiap 6 bulan sekali berubah arah. Aceh mengalami angin Muson Timur Laut (Timur) dan Muson Barat Daya (Barat). Muson Timur terjadi selama bulan Desember hingga Maret sedangkan Muson Barat terjadi dari bulan Juni sampai September. Sementara bulan April, Mei, Oktober, dan November merupakan waktu-waktu peralihan musim. Kecepatan angin pada bulan-bulan perubahan ini adalah relatif kecil yaitu dibawah  $2 \text{ m/s}$ .

Besar kecepatan angin sepanjang tahun juga diperlihatkan oleh data stasiun BMKG, dimana kecepatan tertinggi terjadi pada wilayah Sabang, kemudian diikuti oleh Blang Bintang, kemudian Lhokseumawe,

Meulaboh, dan yang terakhir adalah Indrapuri. Oleh karena itu, berdasarkan data tersebut, Sabang merupakan daerah yang besar potensinya dibandingkan dengan daerah-daerah lain. Sedangkan energinya atau dalam bentuk daya, angin di provinsi Aceh hanya mencapai kurang dari  $5 \text{ Watt/m}^2$  kecuali satu stasiun yaitu sabang yang mencapai hingga  $20 \text{ Watt/m}^2$ .

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif yang menyajikan data *longterm* yaitu dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2016. Sebagai saran tentunya kajian analisis statistik secara mendalam diperlukan seperti distribusi Weibull atau yang lainnya.

### Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dilaksanakan di UIN Ar-Ranirr Banda Aceh pada skema riset tahun 2017. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M) UIN Ar-Raniry yang telah membiayai penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Meteorologi Malikussaleh Lhokseumawe yang telah membantu akses data meteorologi (kecepatan angin) pada stasiun tersebut.

### Keterlibatan Penulis

MAW sebagai peneliti tunggal karena memang ini merupakan skema penelitian individu. MAW bertanggungjawab dalam semua bagian tulisan ini.

### Daftar Pustaka

- Ahrens, C. D., 2001. *Essentials of meteorology an invitation to the atmosphere, 3rd Edition*. Thomson Learning:Australia.
- Kalnay, E. and Coauthors. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bulletin American Meteorology Society*, 77, 437-470.
- Kalnay et al., The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-470, 1996
- Mathew, S., 2006. *Wind Energy : Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer, Berlin.
- Patel, M., R., 1942. *Wind and Solar Power Systems*. CRC Press: Washington, DC.