

Perancangan Struktur Turbin Angin dengan Bahan Komposit

Hendri Syamsudin, Djarot Widagdo, M. Ridlo E. Nasution, Wahyu Krisna Dewangga

Program Studi Aeronautika dan Astronotika
Fakultas Teknik Mesin Dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha 10 Bandung 41032
Jawa Barat, Indonesia
Telp. : +62-22-2504529, Fax : +62-22-2534164, E-mail : dwidagdo@ae.itb.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan listrik di satu sisi seiring dengan berkurangnya persediaan sumber energi utama seperti misalnya minyak bumi di sisi lain memunculkan kebutuhan untuk dikembangkannya berbagai sumber energi baru terutama yang memiliki sifat terbarukan. Salah satu bentuk sumber energi terbarukan yang sudah lama dimanfaatkan dan terus dikembangkan adalah tenaga angin. Keunggulan yang menjadi daya tarik dikembangkannya tenaga angin adalah ketersediaannya yang relative ada sepanjang waktu, meskipun dengan intensitas yang cukup berfluktuasi. Berbeda bila dibandingkan dengan Eropa dan Amerika yang berada pada daerah subtropics, pada daerah tropis seperti Indonesia, dengan kecepatan rata-ratanya yang relatif rendah, untuk menjadikan angin sebagai sumber pembangkit listrik yang layak secara ekonomis menimbulkan tantangan teknologi tersendiri.

Sebagai bagian dari upaya tersebut maka dalam studi ini dilakukan pengembangan turbin angin dengan menggunakan bahan komposit. Penggunaan bahan komposit bertujuan untuk menghasilkan konstruksi kuat tapi ringan. Konstruksi yang relatif ringan akan membantu turbin angin untuk menjadi lebih mudah berputar dalam medan angin yang kecepatannya rendah. Untuk memastikan kemampuan sistem konstruksi turbin dalam menerima berbagai kemungkinan pembebahan yang terjadi dalam operasinya maka dilakukan analisis struktur dalam perancangannya. Dalam analisis ini model bilah turbin angin dengan panjang 3 meter dianalisis dengan menggunakan metode elemen hingga. Untuk keperluan definisi pembebahan, model bilah dibagi menjadi 21 segmen pada arah bentang. Material komposit dengan berbagai kombinasi orientasi serat digunakan pada analisis ini untuk menentukan konfigurasi yang optimum.

Kata kunci: turbin angin, komposit, metode elemen hingga

1. Pendahuluan

Salah satu implikasi dari kemajuan teknologi saat ini adalah meningkatnya kebutuhan akan energi listrik. Berkurangnya persediaan sumber energi utama seperti misalnya minyak bumi memunculkan kebutuhan untuk dikembangkannya berbagai sumber energi baru terutama yang memiliki sifat terbarukan. Angin sebagai sumber energi yang terbarukan merupakan suatu sumber energi yang selayaknya diperhatikan dan digunakan dengan baik. Salah satu hal yang mempengaruhi kondisi angin adalah posisi geografis yang mempengaruhi intensitas rata-rata kecepatan angin. Pada daerah sub-tropis seperti misalnya wilayah Eropa dan Amerika Utara, kecepatan angin rata-rata cukup tinggi yaitu di atas 5 m/detik. Ditunjang dengan tingkat budaya teknologi yang sudah maju kondisi tersebut cukup memberi kemudahan untuk pembangkitan listrik menggunakan tenaga angin dengan skala yang cukup besar. Karakteristik angin di Indonesia yang memiliki kecepatan relatif rendah dengan rata-rata dibawah 5 m/detik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1, menjadikan tantangan tersendiri dalam

membuat turbin sebagai sarana konversi energi gerak menjadi energi listrik. Masalah utama dari kecepatan angin yang relatif rendah ini adalah kesulitan untuk turbin angin dapat mulai berputar. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan turbin yang ringan tapi memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang terjadi.

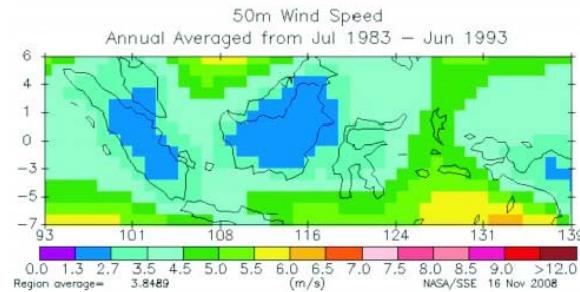
Sebagai bagian dari upaya tersebut maka dalam studi ini dilakukan pengembangan turbin angin dengan menggunakan bahan komposit. Penggunaan bahan komposit bertujuan untuk menghasilkan konstruksi kuat tapi ringan. Turbin komposit ini akan dirancang dengan 3 buah bilah dan memiliki diameter sepanjang 3 meter.

Untuk memastikan kemampuan sistem konstruksi turbin dalam menerima berbagai kemungkinan pembebahan yang terjadi dalam operasinya maka dilakukan analisis struktur menggunakan metode elemen hingga dalam perancangannya.

Analisis diawali dengan pendefinisian beban aerodinamik yang terjadi pada bilah turbin. Distribusi beban ini kemudian dipakai pada model elemen hingga



untuk menghitung distribusi tegangan yang terjadi. Material komposit yang terdiri dari 4 lapisan dipakai dalam pemodelan dengan berbagai variasi orientasi serat. Penerapan variasi orientasi ini untuk dapat memperoleh konfigurasi yang paling optimum. Selain itu dengan diperolehnya distribusi tegangan dapat dilihat pada bagian mana yang paling kritis sehingga bila perlu mendapat penguatan.



Gambar 1. Peta rata-rata kecepatan angin Indonesia. Sumber: NASA 2008 [3]

2. Pembebaan

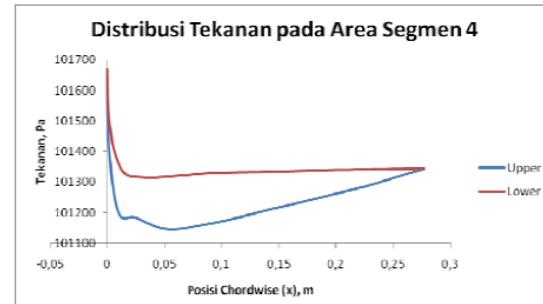
Perhitungan pembebaan didasarkan pada data beban yang diperoleh dari analisis aerodinamika. Data beban tersebut adalah distribusi tekanan pada permukaan bawah dan atas kulit bilah turbin yang terbagi atas 20 area segmen. Area segmen didefinisikan sebagai luasan di antara dua segmen pada rangkaian segmen sebagai berikut:

Tabel 1. Segmen pada bilah turbin

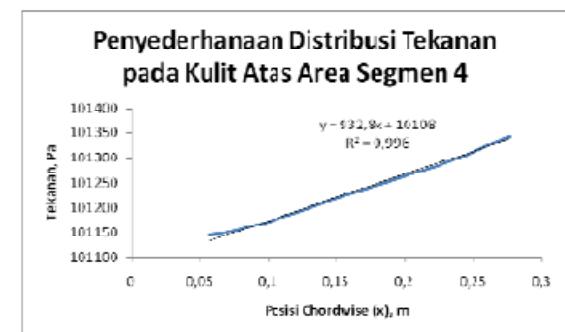
Segmen	Posisi (m)	Chord (m)
1	0,300	0,300
2	0,360	0,292
3	0,420	0,285
4	0,480	0,277
5	0,540	0,270
6	0,600	0,262
7	0,660	0,255
8	0,720	0,247
9	0,780	0,240
10	0,840	0,232
11	0,900	0,225
12	0,960	0,217
13	1,020	0,210
14	1,080	0,202
15	1,140	0,195
16	1,200	0,187
17	1,260	0,180
18	1,320	0,172
19	1,380	0,165
20	1,440	0,157
21	1,500	0,150

Distribusi pada tiap segmen memiliki kontur yang cenderung sama yaitu sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 yang menggambarkan distribusi tekanan pada area segmen 4 (antara segmen 3 dan segmen 4). Arah tekanan merupakan arah normal menuju permukaan kulit turbin.

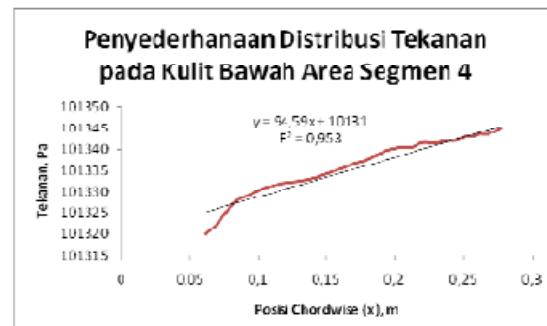
Untuk keperluan data beban dalam analisis struktur bilah turbin ini, distribusi tersebut disederhanakan dengan menggunakan pendekatan distribusi linear sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 1. Distribusi tekanan pada area segmen 4



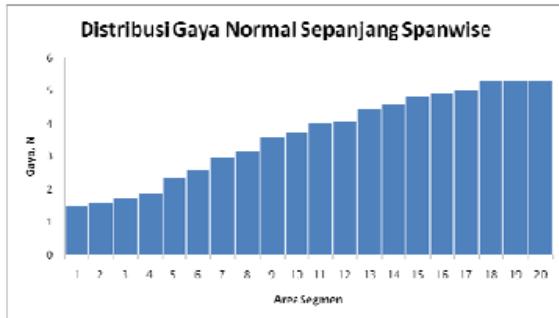
Gambar 2. Penyederhanaan distribusi tekanan pada kulit atas area segmen 4



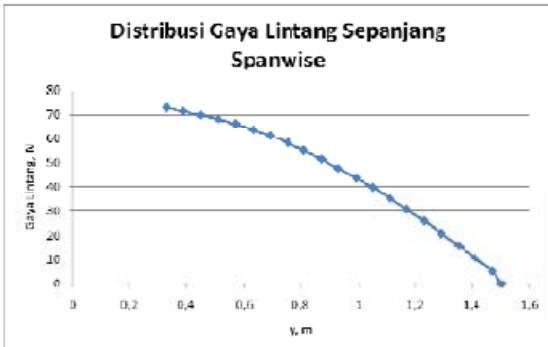
Gambar 3. Penyederhanaan distribusi tekanan pada kulit bawah area segmen 4.



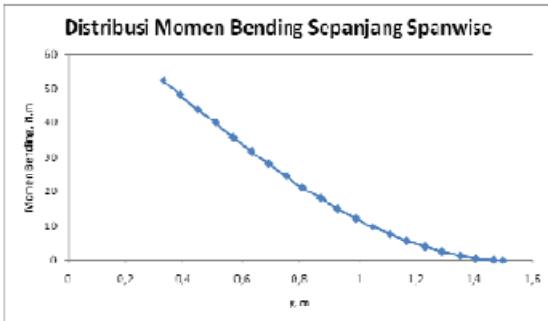
Analisis pembebaan selanjutnya adalah pendefinisian gaya yang bekerja pada masing-masing area segmen dalam bentuk distribusi gaya normal terhadap permukaan kulit bilah turbin. Distribusi gaya normal yang merupakan resultan dari distribusi tekanan dipresentasikan pada Gambar 4. Akibat distribusi pembebaan gaya normal ini diperoleh distribusi gaya lintang dan momen lentur yang bekerja sepanjang bentang bilah yang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 4. Distribusi gaya normal terhadap permukaan sepanjang bentangan (spanwise).



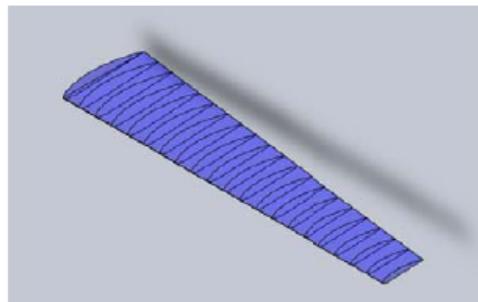
Gambar 5. Distribusi gaya lintang sepanjang bentangan.



Gambar 6. Distribusi momen bending sepanjang bentangan.

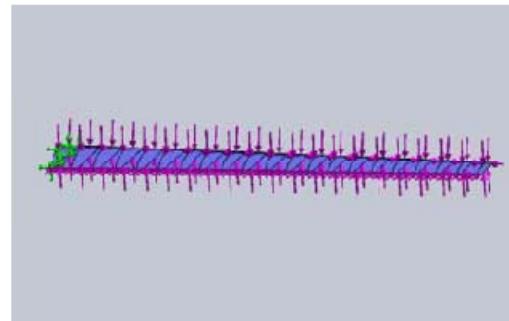
3. Pemodelan

Untuk keperluan analisis tegangan dengan metode elemen hingga dibuat model seperti dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Model 3 dimensi bilah turbin angin.

Guna menyesuaikan dengan data distribusi tekanan maupun gaya normal sebagaimana telah disampaikan, maka pada model ini dilakukan pembagian sebanyak 20 bagian pada setiap permukaan atas dan bawah. Setiap bagian dari model diberi besar gaya tertentu sesuai dengan distribusi tekanan tersebut. Kondisi batas pada model dilengkapi dengan mendefinisikan tumpuan jepit pada root dari bilah, sehingga model analisis lengkap bilah dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Model pembebaan pada bilah turbin angin, dimana warna hijau menggambarkan tahanan, sedangkan warna ungu menggambarkan pembebaan yang terjadi.

Model dengan konfigurasi umum sebagaimana telah diuraikan, kemudian dianalisis dengan memvariasikan konfigurasi serat dan lapisan bahan komposit.

Variasi konfigurasi pada 4 lapisan serat dengan tebal tiap lapisan 0.5 mm adalah:

1. [0/0]s atau unidirectional
2. [0/90]s
3. [45/-45]s

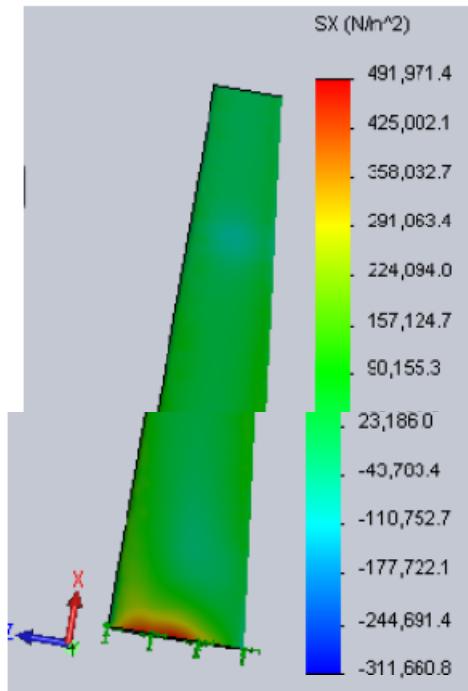
Hasil analisis elemen hingga pada bilah turbin tersebut memberikan distribusi tegangan sebagaimana



dapat dilihat pada Gambar 9 sampai 14. Harga maksimum distribusi pada arah X yaitu arah bentang dan Z dapat diringkas seperti tercantum pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Tegangan maksimum untuk berbagai variasi orientasi serat.

Konfigurasi	S _x max	S _z max	S _{serat} max	S _{resin} max
[0/0]s	492 kPa	168 kPa	492 kPa	168 kPa
[0/90]s	550 kPa	108 kPa	550 kPa	-
[45/-45]s	416 kPa	259 kPa	338 kPa	-

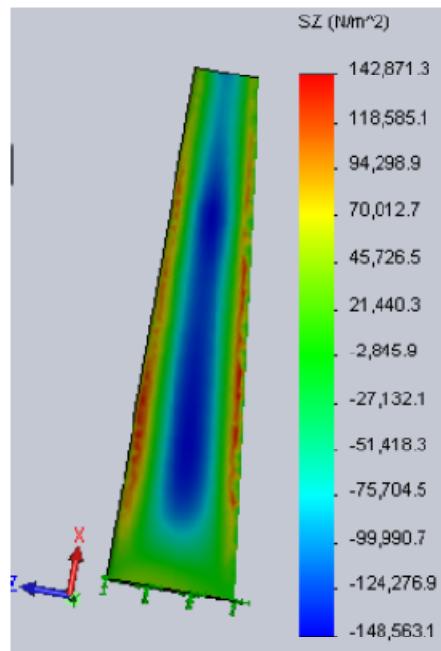


Gambar 9. Distribusi tegangan normal arah X lapisan 1 pada konfigurasi [0/0]s.

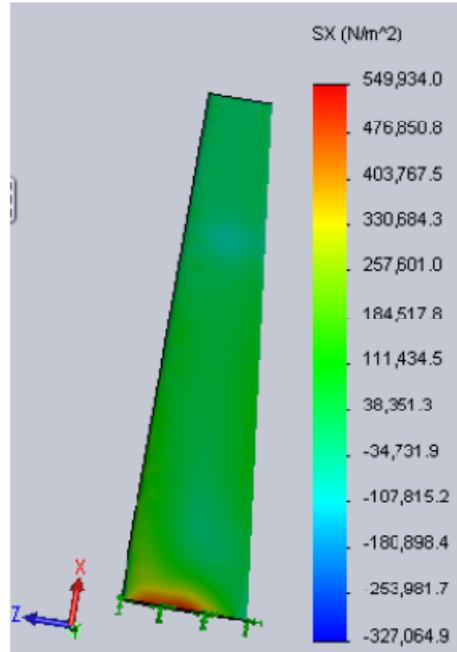
4. Analisis dan Simpulan

Secara umum untuk semua konfigurasi, dengan menggunakan kekuatan serat sebagai kriteria maka dari tabel 2 di atas, tegangan terbesar pada arah serat masih dalam batas aman kekuatan teoritis komposit 60% serat gelas dengan epoxy yaitu dibawah 1250 MPa [1]. Untuk konfigurasi [0/0]s tegangan maksimum yang terjadi pada arah tegak lurus serat sebesar 168 kPa yang akan ditanggung melalui proses tarik pada resin juga masih dalam batas aman kekuatan resin yaitu 70 MPa untuk polyester dan 130 MPa untuk epoxy [1]. Tegangan maksimum pada arah serat terkecil terjadi pada konfigurasi [45/-45]s yang menunjukkan konfigurasi

paling efisien



Gambar 10. Distribusi tegangan normal arah Z lapisan 1 pada konfigurasi [0/0]s.



Gambar 11. Distribusi tegangan normal arah X lapisan 1 pada konfigurasi [0/90]s.

