

**PETUNJUK PEMASANGAN DAN
PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)**



Disusun oleh:

Matilda M. Gati (28715)
Ferdinan M Sinaga (28538)
Yohannes Ridwan S (28598)
Thomas Ari Negara (28385)

**Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta
2006**

Pendahuluan

Peningkatan kebutuhan listrik yang semakin meningkat menyebabkan manusia harus mencari sumber energi alternatif. Hingga saat ini, suplai energi listrik masih dipenuhi oleh pembangkitan listrik konvensional yang menggunakan sumber daya alam tak terbarukan, misalnya batu bara, gas alam, dan minyak bumi. Sumber-sumber seperti ini, suatu saat pasti akan langka dan habis. Sehingga sangat diperlukan pemberdayaan sumber-sumber energi alternatif dan terbarukan. Salah satu sumber terbarukan yang sedang gencar-gencarnya dikembangkan saat ini adalah pemberdayaan energi angin.

Salah satu keuntungan dari pengembangan dan pemanfaatan energi angin adalah biaya pembangunan dan pemeliharaan yang relatif rendah bila dibandingkan dengan pengembangan dan pemanfaatan energi yang lain.

Langkah-langkah yang perlu diperhatikan dalam pembangunan dan pengembangan *wind farm*:

1. Meneliti ketersediaan energi angin di lokasi target

Energi angin merupakan faktor yang sangat penting dalam membangun *wind farm*. Target lokasi pembangunan *wind farm* sebaiknya memiliki laporan tahunan kecepatan angin, dengan nilai kecepatan minimum $\pm 11-13$ mph (<http://www.awea.org>, 2000). Bila data ini tidak ada dapat menggunakan data laporan tahunan kecepatan angin pada daerah sekitar. Data lain yang mendukung pembangunan *wind farm* adalah data cuaca lokal yang dapat diperoleh dari *airport* dan stasiun meteorologi setempat.

2. Menentukan cara pendistribusian energi listrik yang dihasilkan

Jarak antara *wind farm* dengan daerah konsumen listrik harus dipertimbangkan dalam hubungan dengan pendistribusian energi listrik. Karena jarak transmisi yang jauh akan menyebabkan pemborosan biaya dan rugi-rugi energi yang makin besar. Sehingga daerah target pembangunan *wind*

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)

farm sebaiknya relatif dekat dengan daerah konsumen agar biaya pembangunan *wind farm* dapat diminimalkan.

3. Jaminan pembebasan tanah

Kejelasan tentang jaminan pembebasan tanah sangat penting karena pemilik tanah, baik individu maupun umum, akan mengharapkan adanya kompensasi biaya untuk berbagai pengembangan teknologi angin yang terjadi di wilayah mereka. Oleh karena itu sangat dibutuhkan diskusi tentang persetujuan *royalty* (hak kepemilikan) antar pihak-pihak yang terkait. Ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan dan dipertimbangkan dalam jaminan pembebasan tanah ini yaitu jalan, peralatan dan metode transmisi, infrastruktur pemeliharaan *wind farm*, turbin, dan peralatan pendukung lainnya. Sehingga dengan adanya jaminan pembebasan tanah ini diharapkan dampak negatif sosial dapat diminimalkan.

4. Pembangunan gedung utama *wind farm* (*Wind Farm Power Center*)

Mendirikan gedung utama *wind farm* tidaklah murah. Rata-rata, pengembangan energi angin menghabiskan biaya sekitar satu juta dollar per M watt kapasitas pembangkit terinstal (<http://www.awea.org>, 2000). Untuk mendapatkan keuntungan ekonomi, fasilitas tenaga angin sebaiknya memproduksi sekitar 20 MW. Dengan asumsi satu turbin angin rata-rata menghasilkan 750 KW daya terpasang. Ini berarti jumlah turbin yang terinstal ± 26 turbin dan investasi awal ± 20 juta dollar.

5. Pemasaran

Identifikasi pemasaran energi listrik hingga saat ini sangat kompetitif mengingat sudah berkembangnya jenis sistem pembangkit energi listrik. Dan energi angin adalah salah satu energi terbarukan yang sangat kompetitif dalam pemasarannya.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)

Sebelum investor menginvestasikan dananya untuk pembangunan *wind farm*, sudah seharusnya para investor ini memperhatikan prospek pemasaran energi angin \pm 20-30 tahun ke depan.

Pada kenyataannya, harga energi angin terus mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena perkembangan teknologi angin yang menghasilkan sistem pembangkit yang makin murah. Adanya penurunan harga energi angin tentu akan menyebabkan persaingan harga pasar energi angin. Sisi baiknya adalah menguntungkan investor karena modal investasi yang diperlukan juga semakin kecil.

Tidak perlu khawatir akan persaingan harga pasar yang semakin kompetitif ini karena akan ditunjang oleh permintaan pasar akan “*green power*” (energi ramah lingkungan), yang tentu saja salah satunya adalah energi angin, dan permintaan pasar ini akan tetap menjaga harga energi angin di pasaran.

6. Pertimbangan dampak proyek pembangunan *wind farm*

Kenyataan bahwa suatu lokasi memiliki potensi angin yang bagus tidak menjamin bahwa lokasi itu cocok untuk pembangunan *wind farm*. Seorang developer harus mempertimbangkan beberapa faktor sebelum menjalankan proyeknya, diantaranya :

- fasilitas dan peralatan *wind farm* tidak boleh mengganggu ekosistem yang ada di lokasi itu.
- Keadaan geologi lokasi harus cocok untuk pengembangan industri *wind farm*.
- Keadaan penduduk di lokasi tersebut.
- Posisi penempatan turbin yang diinginkan tidak boleh mengganggu navigasi penerbangan dan lalu lintas di daerah itu.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)

7. Pemahaman tentang ekonomi energi angin

Ada banyak faktor yang mempengaruhi harga dan produktivitas dari *wind farm*, diantaranya :

- Kecepatan angin

Daya yang dihasilkan oleh turbin angin merupakan fungsi kecepatan. Dengan persamaan $P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3$ dapat dikatakan bahwa faktor pangkat tiga dari kecepatan menyebabkan adanya sedikit perubahan kecepatan angin akan sangat mempengaruhi daya keluaran turbin. Besar kecilnya daya yang dihasilkan ini akan mempengaruhi harga listrik.

- Ukuran turbin

Area sapuan angin pada sudu-sudu turbin merupakan fungsi luas sudu-sudu turbin yang bergantung pada panjangnya diameter sudu. Semakin besar ukuran turbin akan semakin mahal tapi hal ini dapat dikompensasi dengan daya keluaran turbin yang besar.

8. Mengadakan diskusi antara manufaktur dengan developer proyek

Setiap turbin yang diproduksi memiliki spesifikasi yang berbeda-beda tergantung pada permintaan. Karena spesifikasi turbin sangat bergantung pada potensi daya yang dapat dihasilkan oleh *wind farm* yang direncanakan. Oleh karena itu perlu adanya diskusi antara pihak manufaktur, sebagai pihak ahli perancang turbin, dengan pihak developer sebagai pihak pemakai. Dengan adanya diskusi seperti ini maka diharapkan mampu untuk memberikan solusi spesifikasi turbin yang cocok dengan rancangan *wind farm* yang ingin dikembangkan di lokasi tertentu.

9. Pengamanan dalam sistem pengoperasian dan pemeliharaan

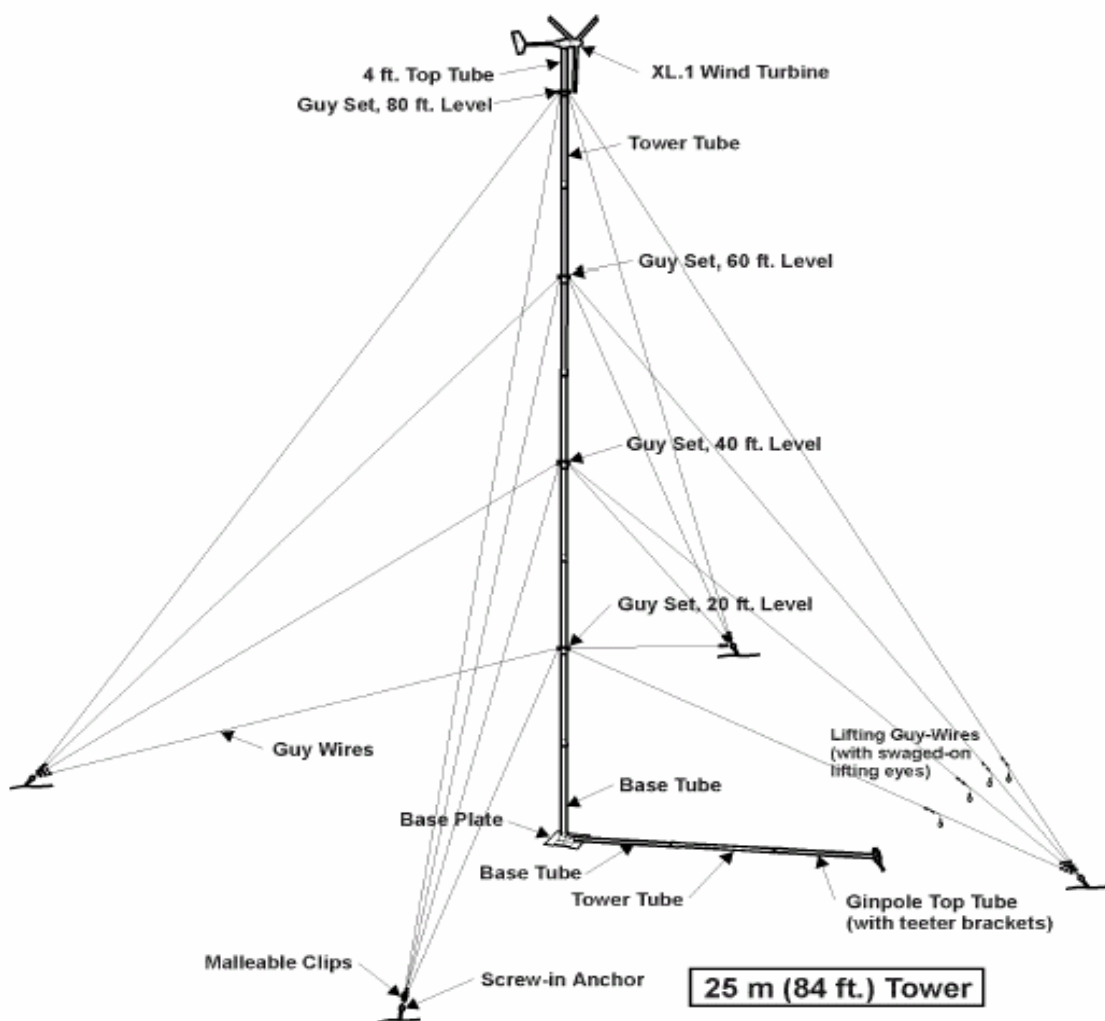
Perkembangan teknologi turbin angin semakin meningkat setiap tahunnya. Hal ini dibuktikan dengan semakin meningkatnya efisiensi turbin dan penurunan harga turbin. Kemampuan turbin merupakan faktor utama

**PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)**

dalam kesuksesan proyek. Oleh karena itu perlu adanya sistem pengoperasian dan pemeliharaan oleh tenaga-tenaga ahli dan profesional.

Pemasangan PLT Angin jenis Tilt. Tower

Pemasangan Tilt. Tower sangat tergantung pada kondisi tanah. Untuk tanah keras dan tidak berbatu, tower dapat dipasang dengan pondasi tanpa dari beton melainkan bisa memakai kawat berjangkar (*guy-wire anchors*). Sedangkan untuk tanah yang lembek dan berbatu maka pondasi dari beton sangat diperlukan untuk memperkuat berdirinya tower. Perlu juga dibangun instalasi anti-petir pada tower untuk melindungi sistem dari kerusakan akibat sambaran kilat.



Gambar 01 – Tilt. Tower beserta sebagian besar komponen pendukungnya

**PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)**

Tilt. Tower sangat baik ditempatkan pada tanah yang rata, sedangkan ketika ditempatkan pada daerah perbukitan maka diperlukan perhitungan yang lebih mendalam mengenai tegangan (*tension*) yang diterima kawat penguat supaya kestabilan berdirinya tower dapat dicapai. Jadi pemilihan kawat dan jangkar yang tepat untuk pembangunan Tilt. Tower dengan kondisi tanah tertentu akan mempengaruhi stabilitas bangunan dan umurnya. Dan juga jangkar sebaiknya tidak ditanam di dekat jalan/daerah yang sering dilalui kendaraan.

Berikut petunjuk pemasangan PLTAngin jenis Tilt. Tower:

1. Pemasangan Jangkar dan Plat Dasar (*Anchors & Base Plate*)

Alat-alat yang diperlukan:

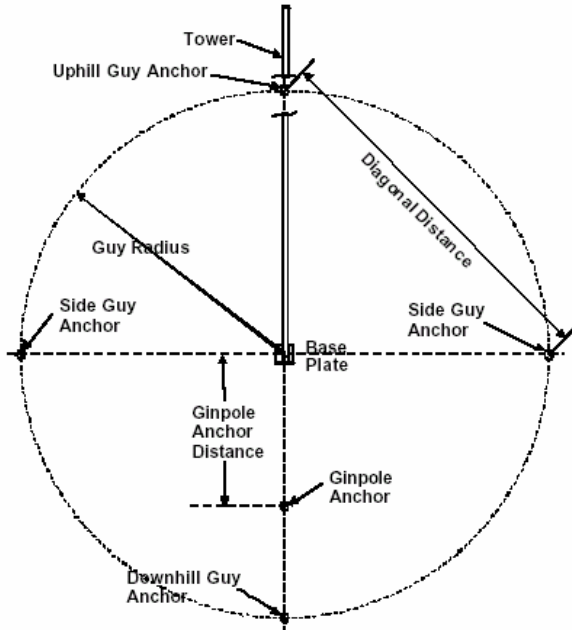
- 5 – 6 kayu atau pancang logam
- Martil besar
- Meteran 100 ft
- batang logam/pipa (panjang 2.5 ft, diameter 1.0 – 1.5 inch)
- Sekop (apabila tanah terlalu keras ketika jangkar ditanamkan ke tanah)
- 9/16 inch box-end wrench/kunci inggris
- 12 inch crescent wrench/kunci inggris

Prosedur teknis:

- a) Tandai tanah yang akan digunakan untuk plat dasar dan jangkar. Pastikan anda memiliki ruangan yang cukup untuk tower dan turbin angin sebelum didirikan. (lihat gambar 02 dan tabel 01)
- b) Pasang jangkar dengan sudut sekitar 45° terhadap permukaan tanah dan sisakan panjang jangkar sekitar 4 – 8 inch (10 – 20 cm) diatas permukaan tanah. (lihat gambar 03). Untuk tower dengan tinggi 8 – 13 m disarankan memakai jangkar berbentuk heliks (diameter 4 inch, panjang 1.37 m). Sedangkan untuk tower dengan tinggi lebih dari 13 m disarankan memakai jangkar berbentuk heliks (diameter 6 inch, panjang 1.68 m). Untuk tanah yang lembek (biasanya pada tanah rawa atau daerah berpasir), sebaiknya jangkar dicor untuk memperkuat konstruksi.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)

- c) Lubangi plat dasar pada 6 titik dengan diameter tiap lubang 0.75 inch, kemudian tempatkan dipermukaan tanah. Untuk memperkuat plat dasar masukkan 4 ft (1.2 m) batang tembaga ke dalam 6 lubang tersebut dengan martil besar dan sisakan sekitar 4 inch (10 cm) diatas plat dasar. Untuk tanah yang lembek disarankan plat dasar ditanam pada kedalaman lebih dari 60 cm diukur dari permukaan. (lihat gambar 04 – top view)



Gambar 02 – Tata letak jangkar

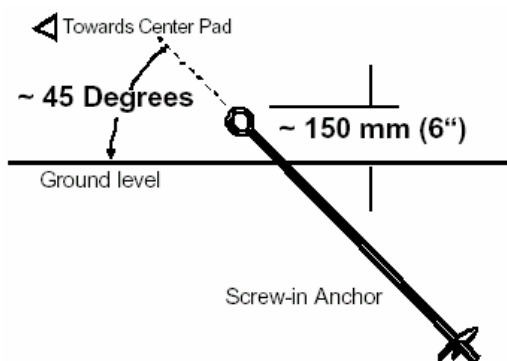
Layout Dimensions in Feet

Tower Height	Guy Radius	Diagonal Distance	Ginpole Anchor Distance
30 ft.	19 ft.	26.8 ft.	N.A.
42 ft.	19 ft.	26.8 ft.	N.A.
64 ft.	35 ft.	49.5 ft.	20 ft.
84 ft.	50 ft.	70.7 ft.	29 ft.
104 ft.	60 ft.	84.6 ft.	29 ft.

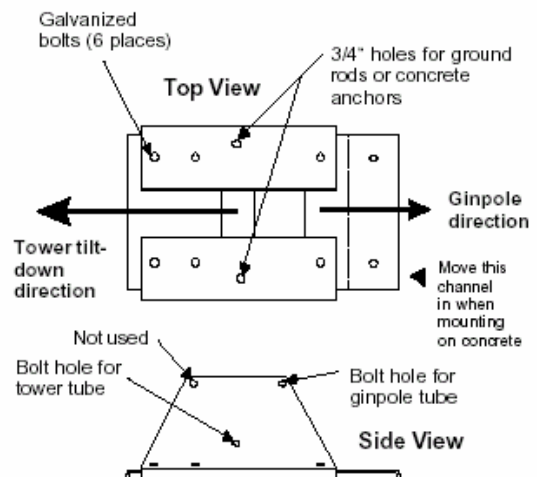
Layout Dimensions in Meters

Tower Height	Guy Radius	Diagonal Distance	Ginpole Anchor Distance
9m	5.8m	8.17 m	N.A.
13 m	5.8m	8.17 m	N.A.
19 m	10.7 m	15.1 m	6.1 m
25 m	15.2 m	21.6 m	8.9 m
32 m	18.3 m	25.8 m	8.9 m

Tabel 01 – Tata letak jangkar



Gambar 03 – Pemasangan jangkar



Gambar 04 – Pemasangan plat dasar

**PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)**

2. Pemasangan Tower (*Tower Assembly*)

Alat-alat yang diperlukan:

- 3/4, 1/2 inch box-end wrench
- 7/16 inch nut driver atau box-end wrench
- 12 inch crescent wrench
- Alat pengukur
- Bor listrik
- 7/32 inch mata bor
- 3/8 inch socket drive
- electrical tape

Prosedur teknis pembuatan tower 9 m (32 ft) dan 13 m (42 ft):

→ Tower dibuat dari pipa (diameter 89 mm (3.5 inch), panjang 2 m (6.5 ft)).

- a) Bagian dasar tower dan plat dasar memakai baut (diameter 0.5 inch, panjang 5 inch) dan mur melalui lubang yang ada pada plat dasar (lihat gambar 04 – side view)

Catatan: jika kabel ingin dilewatkan melalui dalam tower perlu diperhitungkan ukuran kabel yang akan digunakan.

- b) Untuk tower 9 m (30 ft), tambahkan tiga pipa (panjang 2 m (6.5 ft)) diatas bagian pipa yang telah terhubung plat dasar. Kemudian tambahkan diatasnya pipa untuk penempatan sistem turbin angin (panjang ~ 1.4 m (4.5 ft)). Hubungan antar pipa tersebut dikunci dengan alat pengunci dengan panjang 0.25 inch. Untuk memasang alat pengunci, bor pipa dengan ukuran diameter lubang 7/32 inch. Ada 3 buah alat pengunci yang ditempatkan pada lokasi yang sama dan berjarak 120° satu sama lain. (lihat gambar 05).

Catatan: hanya ada satu ring kawat penguat pada tower 9 m (30 ft).

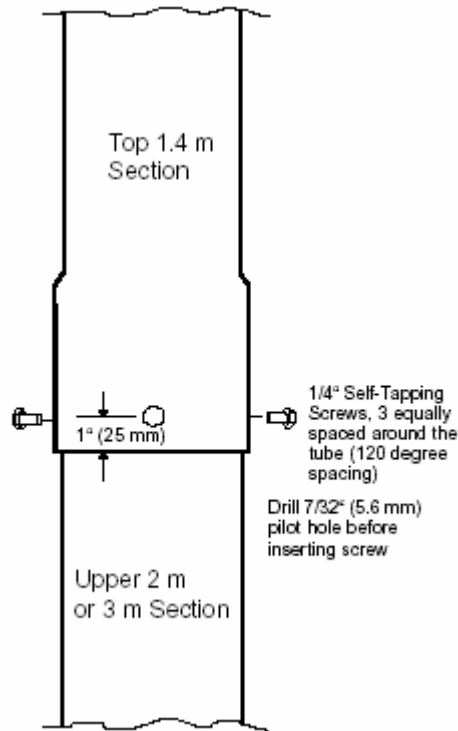
Untuk tower 13 m (42 ft), tambahkan tiga pipa (panjang 2 m (6 ft)) diatas bagian pipa yang telah terhubung plat dasar sehingga tinggi dari dasar ~ 8 m (26 ft). Pada ketinggian 20 ft (dilabelkan level 20 ft) ring kawat penguat pertama ditempatkan, sedangkan ring kawat penguat kedua ditempatkan

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLT Angin)

pada level 40 ft. Kemudian tambahkan lagi dua pipa (panjang 2 m (6.5 ft)) dan pipa untuk penempatan sistem turbin angin (panjang ~ 1.4 m (4.5 ft)).

Catatan: hubungan antar pipa sama seperti pada tower 9 m.

- c) Pastikan ring kawat penguat yang telah terpasang pada tower tidak bergeser ketika tower didirikan.



Gambar 05 – Pemasangan alat penguat pada persambungan pipa-pipa untuk tower

Prosedur teknis untuk tower 19 m (64 ft), 25 m (84 ft), dan 32 m (104 ft):

→ Tower dibuat dari pipa (diameter 114 mm (4.5 inch), panjang 3 m (10 ft)).

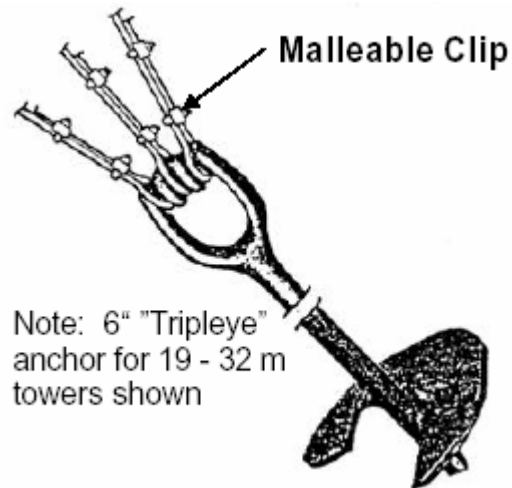
Jenis tower ini memiliki bagian yang disebut gin-pole (memiliki panjang kurang dari jari-jari kawat jangkar) (lihat gambar 02).

- a) Baut bagian dasar tower dan plat dasar memakai baut (diameter 0.5 inch, panjang 5 inch) dan mur melalui lubang yang ada pada plat dasar (lihat gambar 04 – side view)

**PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)**

- b) Tambahkan dua pipa (panjang 3 m (10 ft)) di atas bagian pipa yang telah terhubung plat dasar sehingga tinggi dari dasar ~ 9 m (30 ft). Pada level 20 ft tempatkan ring kawat penguat pertama.
- c) Kemudian tambahkan dua pipa atau lebih (panjang 3 m (10 ft)) dan ring kawat penguat kedua ditempatkan pada level 40 ft.
- d) Untuk tower 19 m (64 ft), tambahkan lagi satu pipa (panjang 3 m (10 ft)) dan pipa untuk penempatan sistem turbin angin (panjang ~ 1.4 m (4.5 ft)). Untuk tower 25 m (84 ft) dan 32 m (104 ft), tambahkan lagi dua pipa (panjang 3 m (10 ft)) dan ring kawat penguat ketiga ditempatkan pada level 60 ft.
- e) Untuk tower 25 m (84 ft), tambahkan lagi satu pipa (panjang 3 m (10 ft)) dan pipa untuk penempatan sistem turbin angin (panjang ~ 1.4 m (4.5 ft)). Pada level 80 ft tempatkan ring kawat penguat keempat.
Untuk tower 32 m (104 ft), tambahkan lagi dua pipa (panjang 3 m (10 ft)) dan ring kawat penguat keempat ditempatkan pada level 80 ft.
- f) Untuk tower 32 m (104 ft), tambahkan lagi satu pipa (panjang 3 m (10 ft)) dan pipa untuk penempatan sistem turbin angin (panjang ~ 1.4 m (4.5 ft)). Pada level 100 ft tempatkan ring kawat penguat kelima.
- g) Pastikan ring kawat penguat yang telah terpasang pada tower tetap pada tempatnya semula ketika tower didirikan.
- h) Gulung semua kawat yang telah terpasang pada tiap jangkar sebelum tower didirikan supaya kawat tidak terbelit-belit dan mempermudah proses pendirian tower.
- i) Pasangkan tiap tiga kawat penguat pada sebuah jangkar dengan memakai klip lunak (*malleable clip*) (lihat gambar 06) dan kendurkan sedikit kawat penguat untuk menghindari tegangan yang berlebihan pada kawat penguat.
- j) Rapikan kawat penguat yang telah terpasang klip lunak dengan menggunakan nut driver ukuran 7/16 inch, tetapi jangan terlalu ketat – mungkin diperlukan untuk pengaturan lagi ketika tower didirikan. Biarkan dua klip yang lain dalam keadaan terbuka sampai tower benar-benar telah didirikan.

**PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)**



Gambar 06 – Cara pemasangan kawat penguat

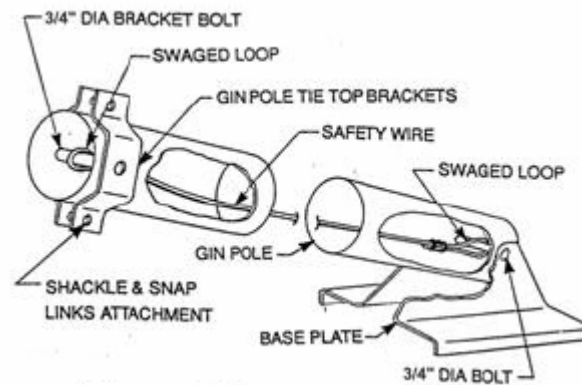
k) Sesuai dengan gambar 04, gin-pole dipasang dengan plat dasar (base plate) memakai baut (diameter 0.5 inch, panjang 6 inch). (lihat gambar 07). Berikut urutan pemasangan gin-pole yang aman:

- 1) Pasang gin-pole pada plat dasar.
- 2) Pasang kawat pengaman di dalam gin-pole.
- 3) Pasang gin-pole pada puncak tower.
- 4) Baut gin-pole pada plat dasar dan pastikan baut terpasang dengan mengelilingi kawat pengaman.
- 5) Pasang kawat penguat tower ke bagian puncak gin-pole (disebut *swaged loop*). (lihat gambar 08)

Beberapa rekomendasi pembuatan gin-pole yang terbuat dari pipa:

- Tower setinggi 9 & 13 m (tiap bagian terbuat dari tiga pipa dengan panjang 2 m), buat gin-pole sepanjang 6 m (20 ft).
- Tower setinggi 19 m (tiap bagian terbuat dari dua pipa dengan panjang 2 m), buat gin-pole sepanjang ~ 20 ft.
- Tower setinggi 25 & 32 m (tiap bagian terbuat dari tiga pipa dengan panjang 2 m), buat gin-pole sepanjang ~ 30 ft.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)



Gambar 07 – Pemasangan kawat pengaman pada gin-pole

- l) Pasangkan tali dari alat pengangkat (misal: mobil derek, truk, traktor) ke bagian puncak gin pole (disebut *swaged loop*) untuk mempersiapkan pendirian tower. Lakukan cara ini nanti dengan pelan dan lembut. Besarnya gaya penarik (*pull-up*) dan panjang tali penarik untuk mendirikan tower berbeda-beda tergantung tinggi tower yang diinginkan. Berikut beberapa rekomendasi untuk ketinggian tower tertentu:

Height, meters	Height, feet	Pull-up Force, kgs (lbs)	Pull-up Cable Travel, meters (ft)
9	30	160 (350)	9 (29)
13	42	250 (550)	9 (29)
19	64	340 (750)	13.1 (43)
25	84	520 (1,150)	13.1 (43)
32	104	700 (1,550)	13.1 (43)

Tabel 02 – Pemilihan kemampuan mesin derek untuk mendirikan tower berketinggian tertentu

Sedangkan ukuran diameter tali untuk proses penarikan disarankan memakai kawat besi (diameter minimum 3/16 inch).

- m) Gunakan plester untuk menjaga kabel listrik yang sudah terpasang di bagian paling atas tower tidak turun ke bawah ketika tower didirikan.

**PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)**

- n) Dirikan tower setinggi 1.2 – 1.8 m (4 – 8 ft) diatas permukaan tanah untuk mengecek keamanan kawat penguat, jangkar dan komponen lain.
- o) Turunkan tower untuk melakukan penyetelan lagi pada kawat penguat, jangkar dan komponen lain.

3. Pendirian Awal Tower (*Initial Tower Raising*)

Pada tahap ini tower didirikan dengan tanpa turbin untuk memastikan pemasangan kawat penguat, jangkar dan komponen lain sudah terpasang dengan baik.

Alat-alat yang diperlukan:

- 7/16 inch nut driver
- alat pengangkat (mobil derek, truk, traktor)

Prosedur teknis:

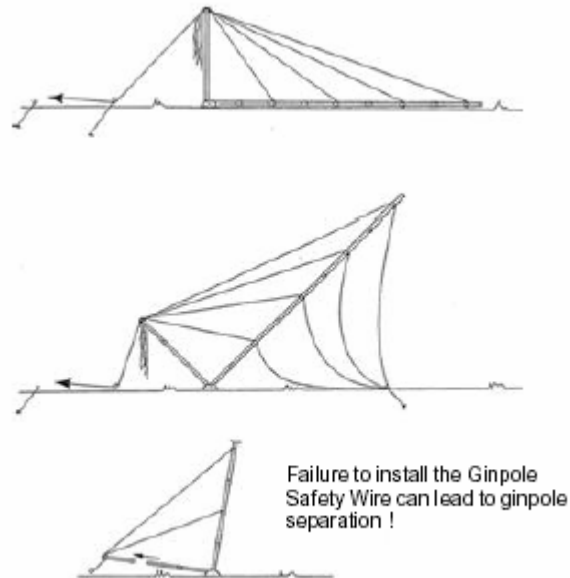
- a) Mulai pendirian dengan membentuk sudut tower dengan permukaan tanah 10° – 20° , kemudian lihat kawat penguat dan bagian gin-pole (terutama kawat pengaman) dengan seksama. (lihat gambar 08) Biasanya bagian itu terlepas/terlalu tegang jika penempatan tidak benar-benar akurat sesuai yang direkomendasikan. Harus ada tegangan yang cukup pada kawat penguat ketika pendirian tower sebab apabila terjadi tegangan yang berlebihan akan membuat kawat penguat putus dan jangkar lepas dari tanah. Besarnya tegangan pada kawat penguat dapat diatur dengan untai kabel jepitan (*wire rope clips*), kerjakan dengan pelan-pelan. Ketidakseimbangan gerakan pendirian tower akan membuat tower berayun.

Catatan: - pastikan alat komunikasi dan kerjasama tim berjalan baik ketika proses pendirian awal tower.

- sebuah kawat penguat dapat ditarik satu orang ketika alat derek berhenti menarik kabel pendirian tower.
 - kesalahan pemasangan gin-pole dan kawat pengaman dapat membuat gin-pole terpisah/rusak ketika pendirian tower.
- b) Lanjutkan pendirian dan penyesuaian tower sampai terbentuk sudut 45° – 60° terhadap permukaan tanah. Atur kawat-kawat penguat selain pada arah

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLT Angin)

pendirian tower supaya didapatkan panjang kawat yang sesuai ketika tower membentuk sudut seperti diatas. Perhatikan kawat penguat, jangkar dan komponen lain.



Gambar 08 – Rangkaian cara pendirian tower

- c) Lanjutkan pendirian sampai keadaan tower mendekati tegak lurus permukaan tanah, kemudian atur tegangan kawat penguat dan pertahankan besarnya tegangan tiap kawat yang sudah diatur. Pengaturan dilakukan dengan menjaga tegangan pada salah satu kawat penguat dan mengatur tegangan kawat penguat yang lain. (jangan lakukan pengaturan tegangan pada kawat penguat secara bersamaan). Semua kawat penguat harus dijaga tegangannya ketika alat derek mengatur tower supaya benar-benar tegak lurus permukaan tanah atau gin-pole menyentuh tanah.

Catatan: pendirian tower pada langkah ini sangat mudah, sangat sedikit gaya diperlukan untuk menetapkan keadaan akhir dari tower, tetapi kesalahan dapat membuat proses pendirian tower gagal.

- d) Periksa tegangan tiap kawat penguat, dengan parameter tegangan sekitar 230 N.m^{-2} . Periksa keamanan untai kabel jepitan. Pastikan keadaan tower

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)

tetap tegak lurus permukaan tanah ketika pengaturan tegangan kawat penguat sedang dilakukan.

4. Menurunkan Tower (*Lowering the Tower*)

Prosedur ini merupakan kebalikan dari pendirian awal tower tetapi harus diambil beberapa tindakan pencegahan untuk tetap mengamankan seluruh komponen.

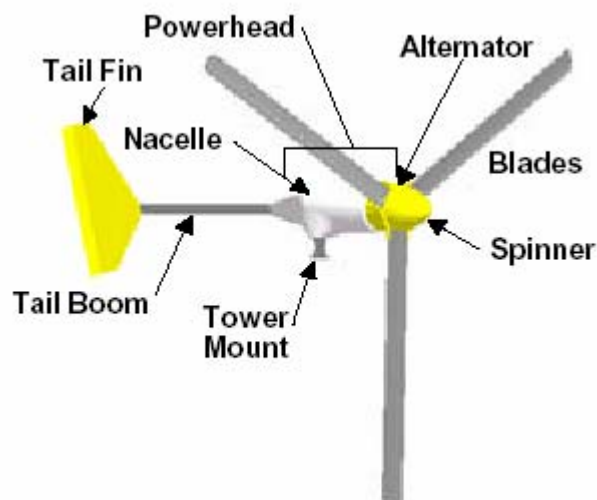
Prosedur teknis:

- a) Jika pada pendirian tower terjadi perbedaan tegangan tiap kawat, maka pada penurunan tower juga sama sehingga perlu dijaga tegangan tiap kawat supaya tidak terjadi ketegangan dan kekenduran yang berlebihan.

Peringatan: Persiapkan luas area yang aman untuk tempat penurunan tower dan kawat penguat, jadi pastikan pada area tersebut tidak ada orang, kendaraan atau peralatan lainnya.

- b) Pastikan kabel untuk penurunan tower memiliki panjang yang cukup sehingga proses penurunan dapat dilakukan dengan pelan dan lancar. Ketika tower sudah membentuk sudut 60° - 45° maka tidak perlu dilakukan pengaturan tegangan kawat disisi arah tower diturunkan.
- c) Usahakan posisi akhir penurunan tower dapat kembali seperti semula (lihat gambar 02)

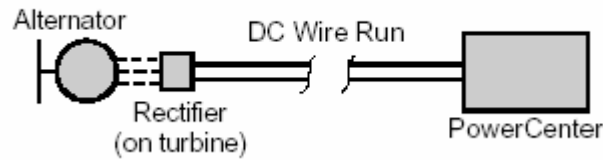
5. Pemasangan Turbin Angin jenis XL.1 (*Installing the XL.1 Wind turbine*)



Gambar 09 – Sebagian besar komponen turbin angin jenis XL.1

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLT Angin)

Secara umum tegangan AC 3 fase yang dihasilkan oleh *alternator* (dinamo) diubah oleh *rectifier* menjadi tegangan DC kemudian disalurkan ke PowerCenter dengan kabel listrik, berikut bentuk skematiknya:



Gambar 10 – Skematik pengkabelan

Alat-alat yang diperlukan:

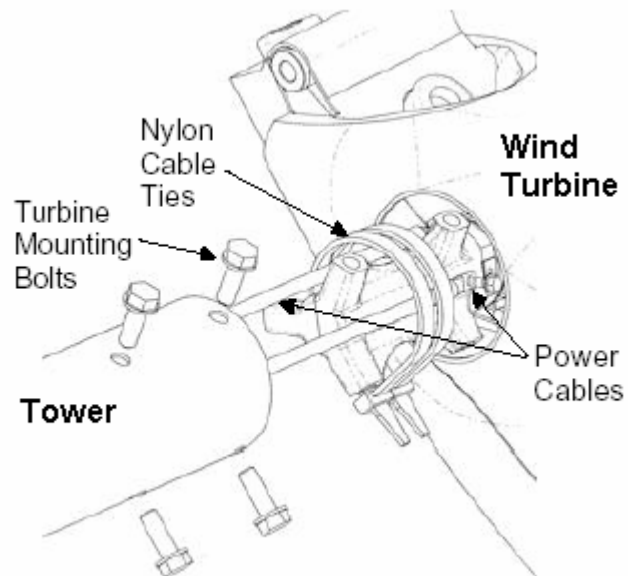
- 17 mm box end wrench
- 17 mm socket dan sekitar 12 inch ratchet drive
- 8 mm socket atau wrench
- catut
- alat pengukur sepanjang 12 ft

Prosedur teknis:

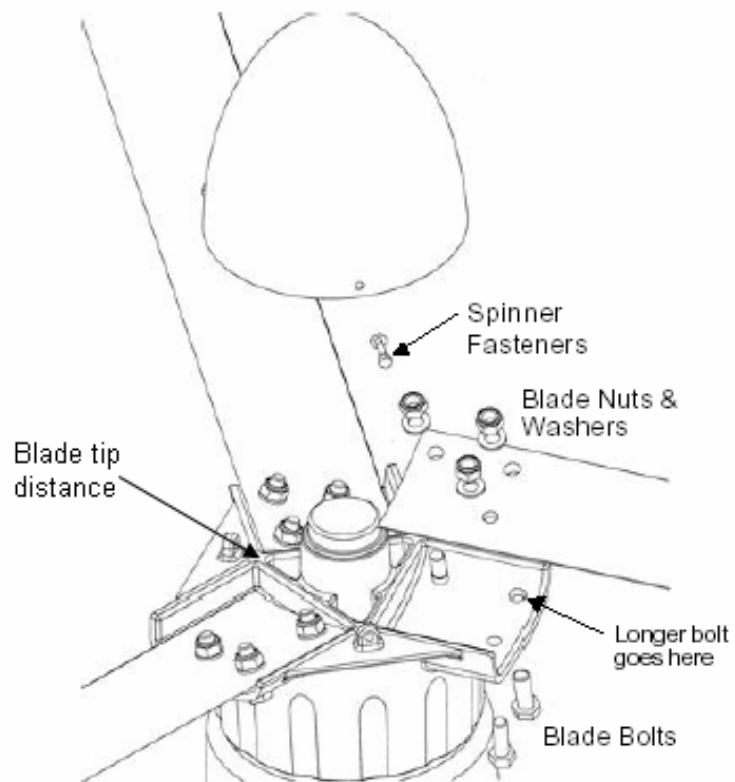
- Tempatkan turbin angin dekat dengan tower paling atas. Sambungkan kabel listrik (*power cable*) dari tower ke *rectifier* turbin angin dan pastikan polaritas tiap kabel listrik tidak terbalik. Untuk mengamankan kabel listrik dapat dipakai *nylon cable ties*. (lihat gambar 10)
- Naikkan tower setinggi 1 m (3 ft) untuk memberi ruang bagi pemasangan turbin angin dan tahan ketinggian tersebut dengan alat penyangga.
- Pasang turbin angin pada tower dengan memakai 6 baut (diameter 10 mm, panjang 1.5 inch). Keenam baut tersebut dipasang pada bagian-Y (lihat gambar 10) dan kencangkan baut dengan torsi sekitar 47 N.m (35 ft-lbs).

Catatan: untuk tower setinggi 19 – 32 m (64 – 104 ft) pasti memakai pipa dengan diameter lebih besar, berarti ada tambahan ruang untuk penambahan baut sehingga memperkuat hubungan tower dengan turbin angin.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLT Angin)



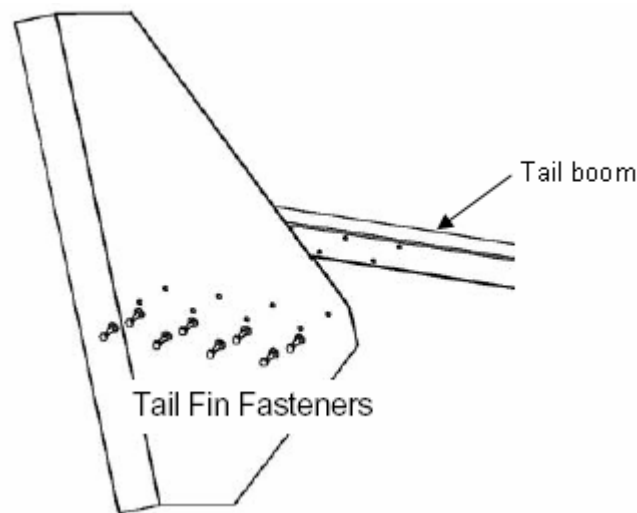
Gambar 11 – Pemasangan turbin angin



Gambar 12 – Pemasangan sudu (*blade*) dan moncong roket (*spinner*)

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLT Angin)

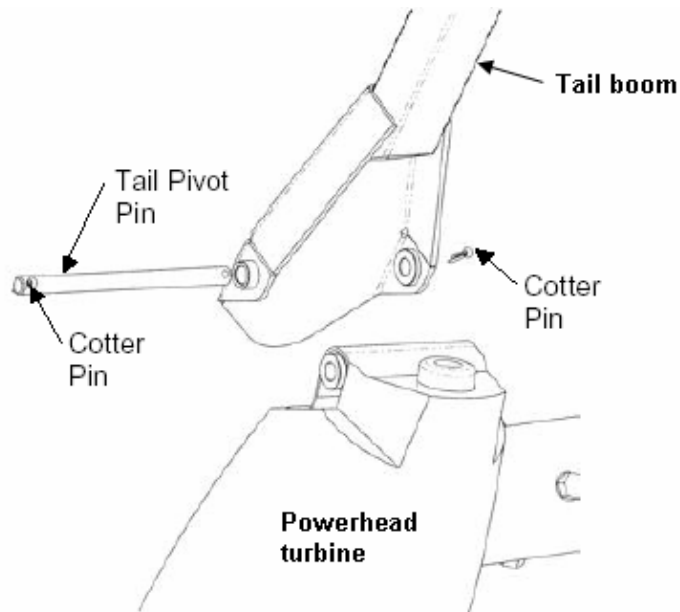
- d) Pasang sudu satu per satu dengan baut (diameter 10 mm) dan pastikan jarak antar sudu (*blade tip distance*) tidak lebih dari 12 mm (lihat gambar 11). Pemasangan sudu yang tepat akan membuat bearing lebih tahan lama dan mengurangi *noise vibration* dari turbin ketika beroperasi. Kencangkan baut dengan torsi sekitar 47 N.m (35 ft-lbs).
- e) Pasang moncong roket (spinner) memakai 3 baut (diameter 5 mm) dengan kekencangan torsi sekitar 47 N.m (35 ft-lbs). (lihat gambar 11)



Gambar 13 – Pemasangan ekor penstabil (*tail fin*)

- f) Pasang ekor penstabil memakai 8 baut (diameter 5 mm) dengan kekencangan torsi sekitar 47 N.m (35 ft-lbs). (lihat gambar 12)
- g) Pasang *tail boom* ke *Powerhead turbine* dengan sebuah *tail pivot pin* (panjang 12 mm (0.5 inch)), kemudian kunci dengan *cotter pin*. (lihat gambar 09 dan 13)
- h) Cek ulang secara teliti pemasangan sudu, spinner, tail fin, tail pivot pin yang dikunci dengan cotter pins, baut pada tower, polaritas kabel listrik. Membuat *check-list* untuk prosedur pengecekan lebih baik.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLT Angin)



Gambar 13 – Pemasangan tail boom

6. Pemilihan Kabel (*Wiring*)

Direkomendasikan memakai kabel jenis 2-conductor VNTC (*Vinyl Nylon Tray Cable*) sebab lebih tahan lama dengan kondisi luar ruangan. Berikut diberikan ukuran kabel yang direkomendasikan untuk tegangan 24 Volt DC dan arus maksimum 60 ampere:

Distance	Size (U.S.)	Size (metric)
23 m (75 ft)	#8 AWG	8.4 mm ²
46 m (150 ft)	#6 AWG	13.3 mm ²
69 m (225 ft)	#4 AWG	21.2 mm ²
91 m (300 ft)	#4 AWG	21.2 mm ²
114 m (375 ft)	#2 AWG	33.6 mm ²
130 m (450 ft)	#2 AWG	33.6 mm ²

Tabel 03 – Rekomendasi ukuran kabel untuk turbin jenis XL.1

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLT Angin)

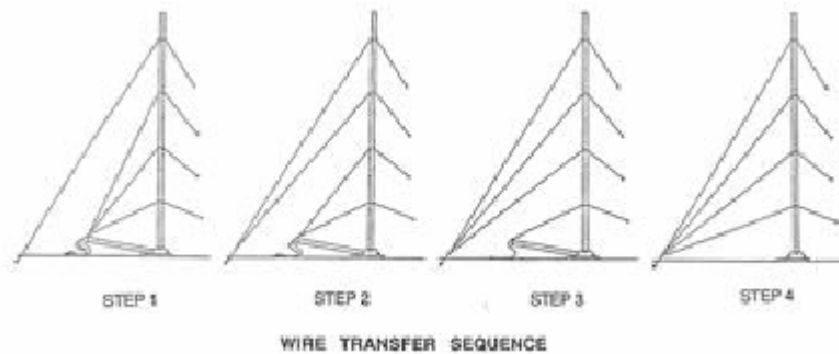
7. Pendirian akhir Tower (*Final Tower Raising*)

Alat-alat yang diperlukan:

- 7/16 inch nut driver

Prosedur Teknis:

- Short-circuit alternator untuk mengamankannya dari kerusakan dan pastikan saklar pada PowerCenter dalam kondisi OFF untuk menghindari kecelakaan.
- Ikuti langkah a), b), c) pada prosedur 3 (Pendirian Awal Tower)
- Transfer kawat penguat dari gin-pole ke jangkar selama proses pendirian sampai semua kawat penguat terpasang pada jangkar. Mulai dengan kawat penguat paling atas kemudian turun. (lihat gambar 14)



Gambar 14 – Rangkaian penstransferan kawat penguat dari gin-pole ke jangkar

- Setelah tower berdiri, cek dari semua arah untuk memastikan tower berdiri tegak lurus terhadap permukaan tanah/base plate.
- Tarik semua kawat penguat dengan tegangan sekitar 450 N/m^2 (100 lbs). Akan ada sedikit kekenduran, ini normal.
- Cek tegangan tiap kawat penguat 2/3 minggu kemudian, apabila terjadi kekenduran maka tarik seperlunya untuk mendekati nilai tegangan kawat penguat yang direkomendasikan. Cek juga jangkar dan posisi tower.

Pengembangan Sistem PLTAngin

1. Reduksi berat generator turbin angin

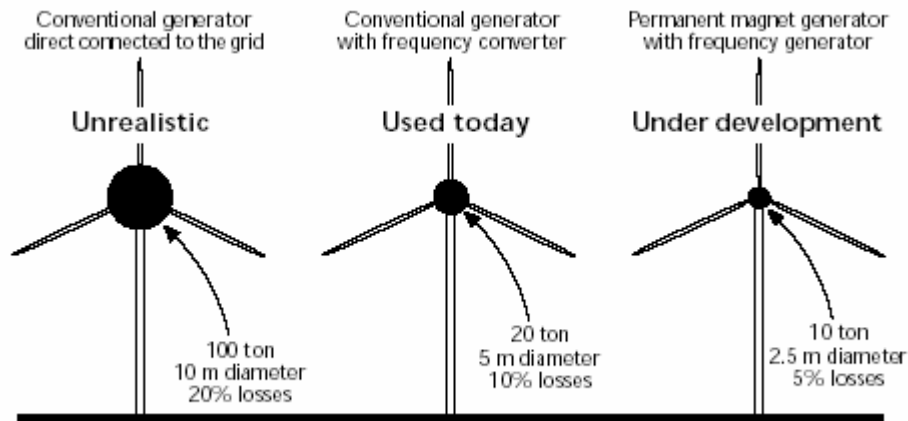


Figure 21.4 Comparison of Three Different Types of 500-kW Direct-Driven Generators

Sumber: IEA R&D Wind by National Renewable Energy Laboratory (NREL)

Gambar 15 – Reduksi berat generator turbin angin dari tiap generasi

Perkembangan teknologi turbin angin sudah semakin baik. Saat ini tingkat efisiensi turbin terus meningkat sedangkan harganya semakin menurun. Salah satu contohnya terlihat pada gambar diatas.

Pada keadaan tidak realistis (*Unrealistic*) dengan berat generator 100 ton dan diameter 10 meter menyebabkan rugi-rugi daya 20% sehingga dalam pemasangan dan perawatannya perlu berhati-hati. Sedangkan pada saat ini berat generator dapat direduksi sampai 20 ton dengan diameter 5 meter sehingga menghasilkan rugi-rugi daya 10%. Dapat disimpulkan bahwa dengan mereduksi berat dan diameter generator akan mengurangi rugi-rugi daya. Dan saat ini sedang dikembangkan berat generator hingga 10 ton dan diameter 2.5 meter untuk mereduksi rugi-rugi daya sebesar 5%.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)

2. Reduksi noise dan desain sudu.

Kondisi angin yang turbulen membuat putaran sudu tidak tetap (*Unsteady*) sehingga menyebabkan timbulnya noise. Desain sudu yang tepat pada suatu lokasi tertentu dapat meminimalisir timbulnya noise.

Batas noise maksimal yang direkomendasikan untuk daerah terbuka 35 - 45 dB(A) dengan jarak *wind farm* ke penduduk 350 m ([Departement of the Enviroment, 1993](#)).

3. Desain pengaman petir.

Untuk bangunan tinggi seperti tower pada turbin angin diharapkan memakai pengaman petir. Pada Instalasi penangkal petir yang modern dengan jelas dibedakan antara:

- Pengamanan petir di luar : terdiri dari antaran-antaran yang sengaja dipasang dibagian luar sebuah bangunan untuk menyalurkannya ke tanah.
- Pengamanan petir di dalam : ini menyangkut berbagai tindakan pengamanan terhadap akibat arus petir pada logam dan instalasi listrik, jadi terutama tindakan pengamanan untuk tegangan yang berlebihan.

Pengamanan petir di luar

Jika sebagian besar material turbin terbuat dari baja, pengamanan tidak menjadi masalah. Pengaman petir dibuat dengan cara menghubungkan kabel *grounding* pada sebuah elektrode tanah atau sebuah sistem pembumian sekurang–sekurangnya pada dua tempat. Jika tidak terbuat dari bahan baja, maka sudu-sudunya perlu dilapisi dengan logam dan kemudian dengan perantara sikat-sikat arang atau gelang gelang seret menyalurkan arus yang besar tersebut ke tanah. Namun pelapisan dengan logam ini akan menghabiskan biaya yang cukup banyak dan pelapisan ini tidak menjamin keamanan turbin bebas dari sambaran petir. Sehingga lebih baik dan praktis apabila seluruh sudu-sudu dibuat dari baja.

PETUNJUK PEMASANGAN DAN PENGEMBANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN (PLTAngin)

Pengamanan petir di dalam

Perlunya pengamanan petir di dalam karena dari kenyataan, isolasi di beberapa titik dalam jaringan lebih lemah daripada isolasi bagian-bagian lainnya. Maka bila terjadi tegangan yang berlebihan, akan timbul kemungkinan pemutusan pada titik tersebut. Titik-titik persambungan yang lemah ini sangat peka dan mempunyai ketahanan terhadap nilai tegangan listrik tertentu. Sehingga apabila ada listrik tegangan tinggi yang mengenainya maka sambungan ini akan putus. Untuk mengantisipasi hal ini, maka dipasang penyalur tegangan untuk mengalirkan arus yang besar ke tanah dalam waktu yang singkat.

4. Mereduksi timbulnya interferensi elektromagnetik oleh *wind farm*

Efek interferensi elektromagnetik yang ditimbulkan *wind farm* yang berlokasi didekat dengan sistem komunikasi (misal: sistem navigasi bandara, tower GSM, dll) sangat besar, sebab dapat mengganggu penerimaan dan pengiriman informasi dari/ke sistem informasi tersebut. Faktor paling dominan yang menyebabkan timbulnya interferensi elektromagnetik adalah ukuran sudu-sudu turbin. Sehingga disain yang tepat mengenai diameter sudu (*blade*) turbin angin akan mampu meminimalkan efek interferensi elektromagnetik.

Referensi

- Godfrey Boyle, 2000, *Renewable Energy Power for Sustainable Future*, Oxford University Press, United Kingdom
- Hofman, H; Harun, 1987, *Energi Angin*, Bina Cipta
- BWC XL.1, Tilt Tilt.Tower Installation Manual (www.bergey.com)
- Installation Manual BWC EXCEL Wind Turbine and Self-Supporting Lattice Towers. [Bergey Windpower Co.](http://www.bergey.com)
- American Wind Energy Association (<http://www.awea.org>)
- National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, Colorado 80401-3393, United States of America (www.nrel.gov)