ISSN 2085-4218
2 Februari 2019

Pengaruh Power Faktor Terhadap Sistem Pencatu Daya Motor Listrik DC 2MW di ILST

Purwadi

[1),2),3)] Staff Balai Besar Teknologi Aerodinamika Aeroelastika dan Aeroakustika (BBTA3)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Email : purwadi@bppt.go.id

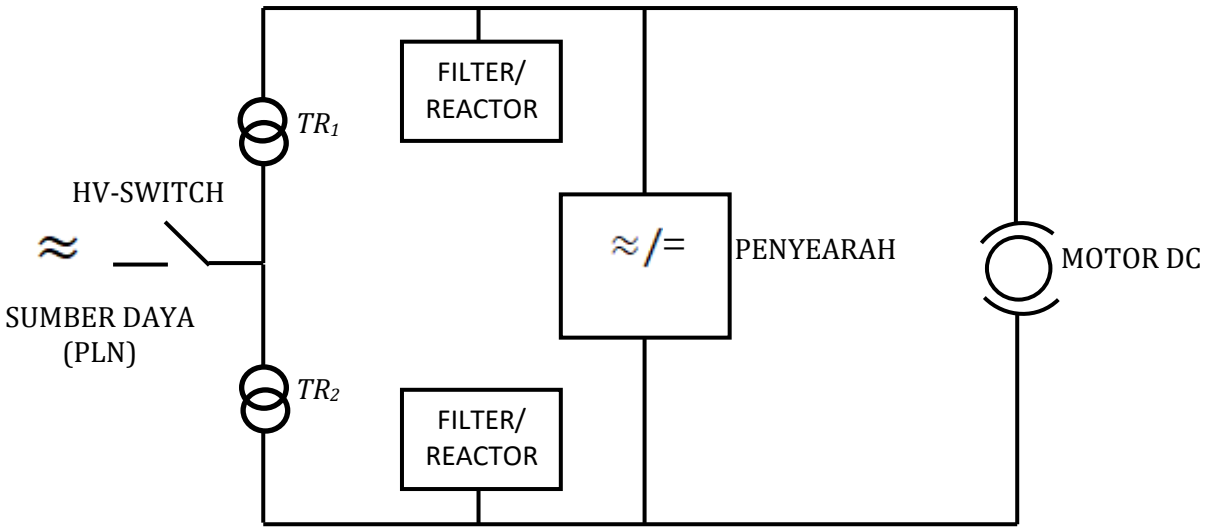
Abstrak. *Aliran udara di terowongan angin Indonesian Low Speed Tunnel (ILST) dibangkitkan oleh baling-baling berdiameter 6 meter dan mempunyai 8 sudu yang diputar oleh satu motor listrik arus searah (DC) bertenaga 2 MW (dua juta watt). Pada tahun 2016 dilakukan pembaruan pencatu daya motor DC yang disebut DC Drive System, sistem ini memberikan daya listrik yang dapat diatur ke motor DC agar putaran motor tersebut juga dapat diatur. Pembaruan DC Drive System yang dilaksanakan belum dilengkapi dengan bank kapasitor yang berfungsi sebagai kompensator daya reaktif motor. Karena sifat motor ini adalah induktif, maka pada saat beroperasi motor dc ini memberikan beban reaktif, sehingga menyebabkan efesiensi ataur faktor daya (cos φ) dari system catu daya menjadi turun dan mencapai nilai 0,6 pada kecepatan angin 70 m/detik. Nilai cos φ yang rendah ini memberikan dampak negatif terhadap peralatan dc drive system maupun terhadap bertambahnya konsumsi daya listrik yang mengakibatkan naiknya biaya pemakaian daya listrik ILST*.

Kata kunci*: terowongan angin, dc drive system, faktor daya, daya listrik*.

1. Pendahuluan

Terowongan angin ILST dibangun Pada tahun 1984 dan selesai pada tahun 1987. Pada tahun 1989 mulai digunakan untuk pengujian aerodinamika untuk berbagai jenis pesawat terbang yang dikembangkan oleh PT. Industri Pesawat Terbang Nusantara (PT. IPTN) atau saat ini bernama PT. Dirgantara Indonesia (PT.DI), seperti jenis pesawat CN235, N250, N2130 dan saat ini N219[(1)]

ILST mempunyai seksi uji untuk meletakkan model uji dengan ukuran 3 m tinggi dan 4 m lebar terdiri dari sepasang seksi uji dengan total panjang 10 m. Kecepatan angin di dalam seksi uji dapat mencapai 90 m/detik atau 325 km/jam yang dihasilkan oleh sebuah kipas besar dengan diameter 6 m terdiri dari 8 sudu yang digerakkan oleh motor listrik arus searah (DC) dengan daya maksimum sekitar 2 MW atau dua juta watt[(1)]. Motor listrik ini terdiri dari dua unit motor, motor satu (M1) dan motor dua (M2) yang secara mekanik kedua sumbunya (as) dihubungkan. Catu daya listrik dan pengendalian putaran untuk kedua motor ini diberikan dan dilakukan oleh *DC Drive System.*



Gambar 1. Diagram sirkuit sistem catu daya motor DC 2 MW ILST (sistem lama) [2]

Sumber catu daya motor DC ini diperoleh dari dua unit transformator penurun tegangan dari tegangan jala-jala PT. PLN 20 kV menjadi tegangan kerja motor sebesar 700 V dengan daya maksimum kedua transformator sebesar 3 MVA. Pengendalian catu daya dilakukan oleh sistem penyearah arus bolak balik (AC) menjadi arus searah (DC) yang dapat memberikan daya secara vaiabel untuk mendapatkan putaran yang bervariasi pada kipas pembangkit angin sesuai kecepatan angin yang dinginkan pada ruang seksi uji.(2)

Sumber daya yang berasal dari dua unit transformator di dalam sistem lama dibuat sebagai rangkaian seri dan kedua motor secara mekanikal disatukan dengan menyambungkan as kedua motor. Dengan demikian secara sistem hal ini terlihat sebagai sistem tunggal. Pada Gambar 1 ditampilkan diagram sirkuit untuk pengendalian catu data listrik motor DC 2MW ILST (sistem lama).

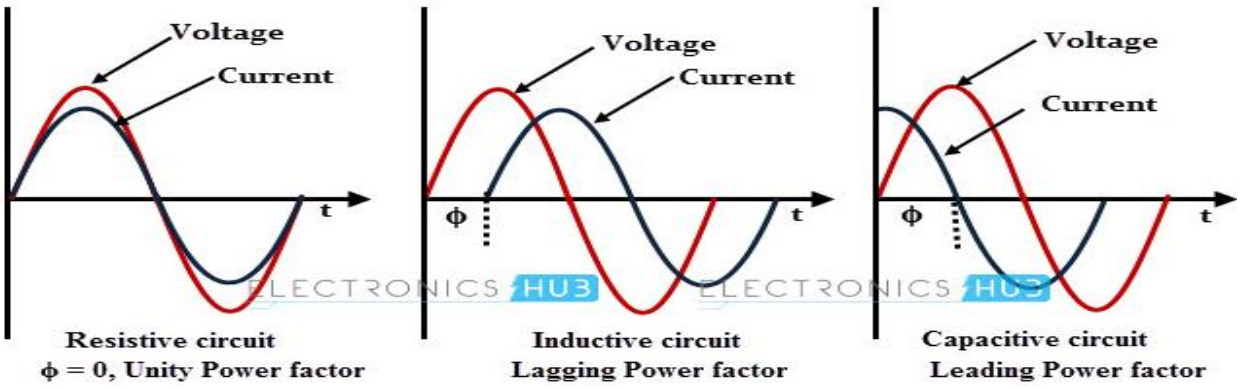
Pada tahun 2016 dilakukan pembaruan terhadap *DC Drive System ILST* karena sistem yang lama sudah sering mengalami masalah dan tidak dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan pengujian di terowongan angin ILST. Pada proses penggantian sistem ini, dengan alasan faktor anggaran, bank kapasitor untuk kompensator daya reaktif tidak dapat disediakan secara penuh. Kekurangan ini akhirnya menimbulkan masalah pada efesiensi daya listrik atau faktor daya (cosØ), harga cosφ menjadi rendah pada saat terowongan angin dioperasikan untuk pengujian.

2. Pembahasan

2.1. Pengertian Faktor Daya (Cosφ)

Power faktor adalah besarnya sudut cosinus yang dibentuk antara tegangan dan arus pada sirkuit arus bolak-balik (AC). Pada arus AC dapat terjadi perbedaan phasa (Ø) antara tegangan dan arus dan ini disebut faktor daya atau juga disebut cosØ.

Pada Gambar 2 diperlihatkan bentuk gelombang arus bolak-balik dengan tiga jenis bentuk beban pada sirkuit arus listrik AC(3)

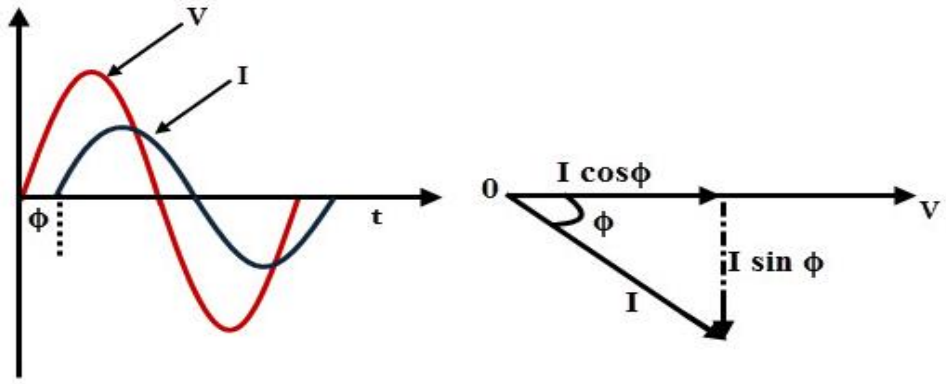


Gambar 2 Bentuk gelombang arus bolak-balik (AC) dengan tiga jenis beban (3)

Dari gambar di atas dapat dijelaskan bahwa untuk beban resistif di suatu sirkuit arus AC, tidak ada perbedaan phasa antara tegangan dan arusnya, pada beban induktif, phasa tegangan ada di belakang arus sebesar Ø (*lagging*) dan pada beban kapasitif, phasa tegangan ada di depan arus sebesar Ø (*leading*). Pada Gambar 3 di bawah ini diperlihatkan diagram phasor pada beban induktif, dimana arus meninggalkan tegangan dengan sudut Ø. Dengan demikian arus terbagi menjadi dua bagian, yaitu arus I cos Ø sebagai arus murni dan arus I sin Ø disebut juga arus reactif 90° tegak lurus terhadap arus murni.

Dari diagram tersebut diketahui bahwa besar sudut Ø menentukan nilai faktor daya dari suatu sirkuit dengan beban reaktif. Semakin kecil sudut Ø maka semakin besar tinggi nilai faktor dayanya.

ISSN 2085-4218
2 Februari 2019



Gambar 3. Diagram phasor dari suatu beban reaktif pada sirkuit arus bolak-balik (AC).[3]

Dari diagram phasor di atas dapat diketahui antara daya murni atau daya aktif yaitu VI cos Ø yang biasa terukur dalam besaran Watt (W) atau Kilowatt (kW) juga daya reaktif VI sin Ø yang terukur dalam VAr atau kVAr. Daya VAr ini akan selalu muncul apabila akibat beban reaktif untuk menghasilkan medan magnet atau flux magnetik pada belitan seperti yang terjadi pada motor listrik, trafo balast pada lampu neon dan lain sebagainya. Resultan antara daya aktif dan daya reaktif disebut juga sebagai daya semu yaitu perkalian antara arus dan tegangan pada beban induktif atau kapasitif, biasa diukur dalam notasi VA atau kVA.

Besar faktor daya pada suatu beban induktif yang juga disebut sebagai cos Ø adalah perbandingan antara daya aktif dibagi dengan daya semu. Dalam bentuk persamaan ditulis[3] :

$$\cos Ø = \frac{KW}{KVA} \quad (1)$$

Besaran cos Ø biasa ditulis dalam angka, misal 0,9 atau dalam bentuk prosentase seperti 90%.

Perbaikan faktor daya atau cos Ø dapat dilakukan dengan menyediakan *capasitor bank* dengan besar yang disesuaikan dengan keperluan sesuai nilai cos Ø yang ingin dicapai pada kondisi operasional. Di bawah ini beberapa persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung besar kapasitor bank untuk perbaikan nilai cos Ø pada sirkuit arus bolak balik (AC). Perhitungan daya aktif atau daya murni pada suatu sirkuit arus AC tiga phasa dapat dihitung dengan persamaan[3,4] :

$$P = \sqrt{3}\, V\, I \cos Ø \quad (2)$$

dimana :

P = daya aktif (W)
V = tegangan (V)
I = arus maksimum

Besar nilai kapasitor bank pada nilai faktor daya (cos Ø) yang diinginkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini[4] :

$$Qc = P (\tan Ø_1 - \tan Ø_2) \quad (3)$$

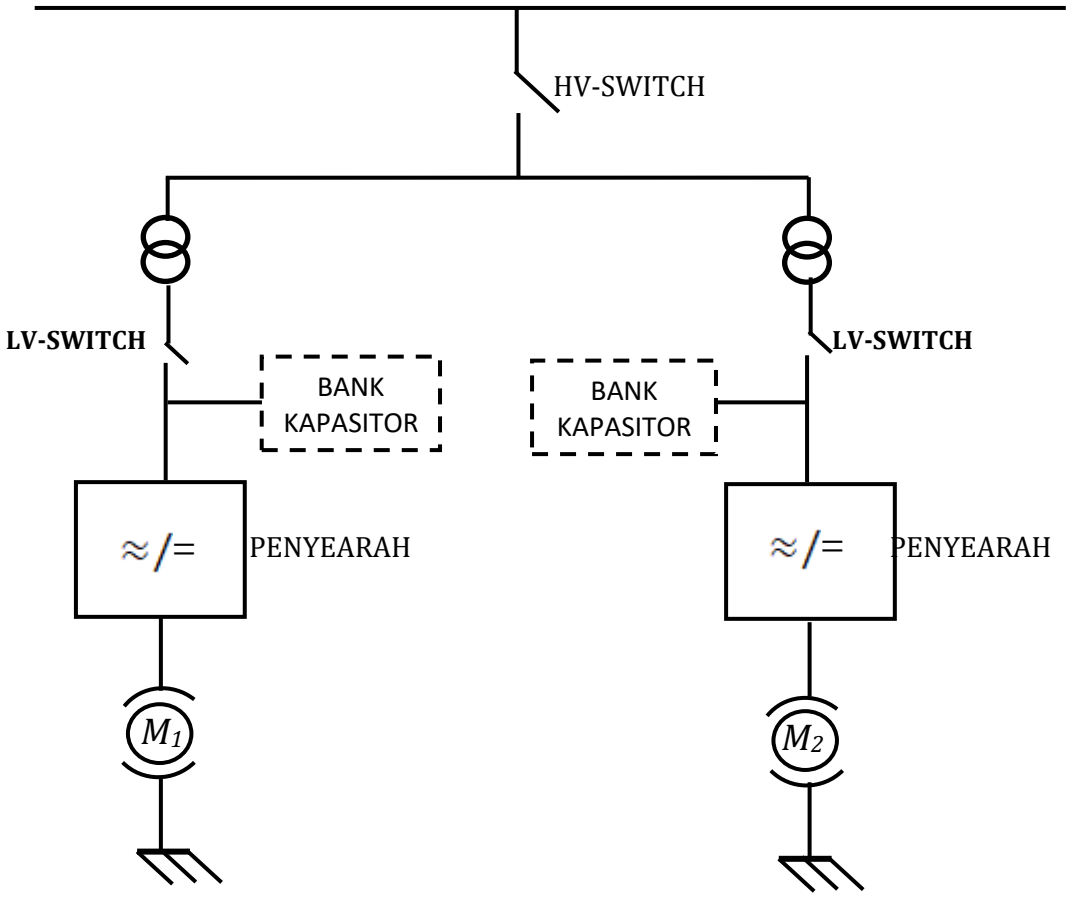
dimana :

Qc = Nilai kapasitor daya (VAr)
P = Daya aktif (W)
tan $Ø_1$ = diperoleh dari nilai cos Ø awal
tan $Ø_2$ = diperoleh dari nilai cos Ø yang diinginkan.

2.1. Permasalahan Pada Sistem Baru *DC Drive* ILST

Setelah dilakukan pembaharuan pada sistem drive motor DC 2MW ILST, terjadi permasalahan pada nilai faktor daya sistem tersebut pada saat operasional *fan drive sistem*. Faktor daya pada kondisi operasional terowongan angin pada kecepatan angin 70 m/detik di seksi uji yang setara dengan putaran baling-baling atau motor pada putaran sekitar 300 RPM, harga faktor daya turun sampai dengan cos Ø = 0,60 atau 60%. Kondisi ini secara otomatis membuat meter daya KVAr yang dipasang oleh PT. PLN menjadi aktif untuk mencatat penggunaan daya reaktif (kVAr). Beban kVAr ini menaikkan biaya pemakaian daya sekitar 95% dari biaya pemakaian sebelumnya.

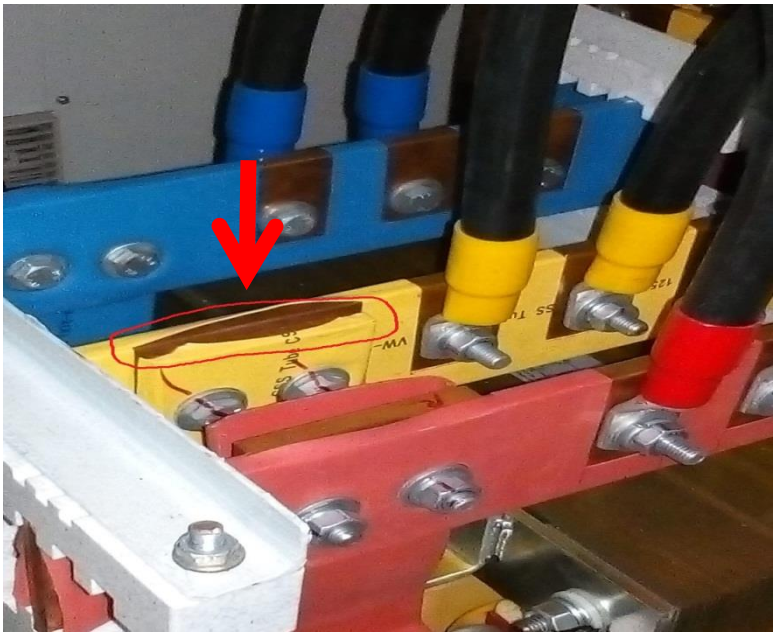
Perbedaan sistem catu daya motor DC ILST yang baru adalah sistem baru memperlakukan kedua motor secara terpisah dengan sistem pengendalian menggunakan sistem *Master-Slave,* dimana salah satu motor berfungsi sebagai *master* dan motor satunya berfungsi sebagai *slave.* Proses sinkronisasi kedua motor dilakukan oleh sistem kendali mengacu kepada nilai torsi yang diperlukan untuk putaran kipas. Motor yang berperan sebagai master menjadi referensi dari motor kedua. Kedua motor dc beroperasi disesuaikan dengan kebutuhan besaran torsi dan bekerja dengan mengikuti hirarki yang sudah diatur sedemikian rupa oleh sistem kendali. Pada Gambar 4 dapat dilihat skema diagram catu daya motor DC ILST yang baru.



Gambar 4 Diagram sistem catu daya motor DC ILST yang baru

Dari sisi teknis, penurunan faktor daya dapat menaikkan arus yang mengalir pada transformator ataupun pada saluran distribusi daya[3]. Apabila kondisi yang demikian terjadi secara terus menerus dan tidak segera diatasi, maka dapat menimbulkan kerusakan pada sistem. Kondisi yang demikian dapat menjadi lebih buruk lagi apabila peralatan tidak dipersiapkan dengan kondisi faktor daya yang rendah. Misalkan pada kabel distribusi daya, apabila ukuran diameter kabel tidak dipersiapkan untuk kemampuan menyalurkan arus pada kondisi faktor daya rendah, dimana pada kondisi ini arus yang

mengalir akan lebih besar, maka kabel dapat menjadi panas sehingga dapat merusak insulasinya,[3] bahkan pada kondisi lebih buruk kabel dapat terbakar akibat arus pendek. Gambar 5 berikut memperlihatkan kondisi insulasi konduktor arus pada sistem catu daya motor dc 2 MW yang terkelupas kemungkinan besar disebabkan oleh arus lebih yang mengalir di konduktor.



Gambar 5 Kondisi insulasi konduktor yang terkelupas pada sistem catu daya motor DC ILST (tanda panah).

Setelah mengamati adanya kenaikan biaya penggunaan daya dan permasalahan teknis pada sistem catu daya motor listrik DC 2MW ILST, maka dilakukan analisis kenaikan arus akibat turunnya nilai cos Ø pada masing-masing sistem penggerak motor DC baik yang *master* maupun *slave.* Tabel 1 di bawah ini menampilkan kenaikan arus dalam proses terhadap penurunan harga cos Ø.yang diperoleh dari hasil persamaan (2).

Tabel 1. Korelasi Antara Penurunan Harga Cos Ø Terhadap Kenaikan Arus

No	Nilai cos Ø	Besar Arus (%)	Catatan
1	1	100.00	ideal
2	0,9	111.11	Desain motor DC
3	0,85	125.00	Batas terkecil PLN
4	0,7	142.86	
5	0,6	166.67	
6	0,5	200.00	

Memperhatikan kerugian yang ditimbulkan dari penurunan harga cos Ø pada saat beroperasinya terowongan angin ILST, maka dibuat suatu rencana untuk mengatasi masalah tersebut dengan menghitung nilai bank kapasitor daya yang diperlukan untuk kompensasi daya reaktif KVAR yang akan dipasang pada sistem pencatu daya motor DC 2MW ILST. Pemasangan bank kapasitor ini diharapkan dapat menaikkan nilai cos Ø pada angka 0,95 (95%). Berikut adalah perhitungan

kebutuhan kapasitor daya untuk sistem pencatu daya motor DC 2MW ILST yang dihitung dari persamaan (2) dan (3).[3,4].

Data catu daya listrik motor DC ILST adalah sebagai berikut :

Daya terpasang	= 3000 kVA
Tegangan (V)	= 700 Volt
Arus maksimum (I_{max})	= 400 Ampere
Faktor daya (cos Ø)	= 0,60
Frekwensi	= 50 Hz

Dari data tersebut di atas, besar daya aktif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2) sebagai berikut

$$P = \sqrt{3}\ V\ I \cos Ø$$
$$= 1{,}73 \times 700 \times 428 \times 0{,}60$$
$$= 310.984 \text{ watt}$$
$$= 310{,}98 \text{ kW}$$

Apabila besar cos Ø awal adalah 0,60 dan besar cos Ø yang diinginkan adalah 0,95 maka kebutuhan kapasitor dayanya dapat dihitung dengan persamaan (3) sebagai berikut:[3,4,6]

$$Qc = P\ (\tan Ø_1 - \tan Ø_2) \quad \text{sehingga}$$
$$= 310{,}98\ (1{,}33 - 0{,}33)$$
$$= 310{,}98 \text{ kVAr}$$

Ketika ILST beroperasi pada kecepatan angin sama dengan 70 m/detik, dimana pada kondisi normal cos Ø = 095 besar arusnya sama dengan 400 Ampere, maka pada kondisi cos Ø = 0,60 kenaikan arus dapat dihitung dengan mengambil nilai prosentase kenaikan dari Tabel 1 yaitu kenaikan arusnya sebesar 167%, maka arus yang mengalir pada tranformator dan kabel/konduktor menjadi sebesar

$$I_{max} = 400 \times 1{,}67 = 668 \text{ Ampere.}$$

Untuk menaikkan faktor daya dari 0,60 menjadi sebesar 0,95 pada operasional kecepatan angin 70 meter/detik, maka pada sistem catu daya motor dc 2 MW seharusnya dipasang bank kapasitor dengan nilai sebesar 310,98 kVAR atau dibulatkan menjadi 311 kVAR. Agar pemakaian bank kapasitor lebih efektif sesuai dengan kebutuhan kompensasi daya KVAR atau daya reaktif yang diperlukan, maka pemasangan bank kapasitor dengan jenis sistem *switching* akan tepat dengan memperhatikan kondisi operasional motor dc ILST yang bekerja pada kondisi putaran yang bervariasi.

3. Kesimpulan

Nilai faktor daya (cos Ø) pada sistem catu daya motor DC 2MW ILST yang dapat mencapai nilai 60% saat ILST beroperasi pada kecepatan angin 70 meter/detik melampaui batas minimum cos Ø yang ditentukan oleh PT. PLN sebesar 85%. Hal yang demikian secara finansial dapat membebani anggaran BBTA3 akibat kenaikan biaya pemakaian daya listrik yang disebabkan oleh beban daya reaktif (kVAr) yang harus dibayar.

Secara teknis penurunan cos Ø sampai ke nilai 0,60 (60%) dapat menaikkan arus semu beban sampai dengan 167%. Kenaikan arus ini berdampak negatif pada tranformator penyedia daya (TR1 dan TR2) dan juga pada kabel konduktor daya listrik pada sistem catu daya motor DC ini. Kondisi ini akan semakin buruk apabila peralatan tersebut tidak mempunyai cadangan kapasitas arus yang mencukupi untuk penurunan harga cos Ø sampai 60%.

Pemasangan bank kapasitor (kVAr) sebesar 311 kVAr pada sistem catu daya motor dc 2 MW ILST diperlukan untuk kompensasi daya reaktif KVAR dan untuk menaikkan nilai cos Ø menjadi 95%.

Ucapan Terima Kasih
Diucapkan terima kasih banyak kepada jajaran pimpinan BBTA3, teman sejawat pada sub bidang operasi dan perawatan yang telah memberikan dukungan sehingga makalah ini dapat terselesaikan. Kepada pantia Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019 saya mengucapkan terima kasih banyak atas kesempatan yang diberikan sehingga makalah ini dapat disertakan kegiatan Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019.

Daftar Pustaka

[1] Surjatin Wiriadidjaja, 2000, *Challenge and Opportunities for The Aero-Gas Dynamics and Vibration Laboratory, (LAGG),* Proceeding The First Indonesia-Taiwan Workshop on the Aeronautical Science, Technology and Industry,
[2] NLR, April 1986, *"Factory Acceptance Test Drive System ILST*", HOLEC machinery and systems.
[3] Administrator www.electronicshub.org, November 2015 "*Power Factor and Its Correction*",.
[4] Charles Belove, 1986, "Hand Book of Modern Electronics and Electrical Engineering".John Willey&Sons.
[5] Chavez, *C.; Houdek, J. A. 9–11 Oct 2007, "Dynamic Harmonic Mitigation and power factor correction." IEE. Electrical Power Quality*.
[6] John *Ware, 2006, "Power Factor Correction", IEE Wiring Matters*