

## Modernisasi Pengendalian Motor DC Sistem Seri Menjadi Sistem Paralel di ILST, BBTA3-BPPT

Asep Dadan Hermawan, M.Sc

Balai Besar Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
Kawasan PUSPIPTEK, Gd. 240, Setu, Setu, Tangerang Selatan, Banten 15314  
asdos.sumedang@gmail.com

**Abstrak**— BPPT unit BBTA3 adalah Instansi Pemerintah yang bertanggung jawab untuk melakukan kegiatan teknologi aerodinamika, aeroelastika dan aeroakustika di Indonesia. Fasilitas yang dimiliki oleh BBTA3 adalah ILST (*Indonesian Low Speed Tunnel*), Salah satu fasilitas yang digunakan dalam aktivitas pengujian adalah *fan drive*. Sistem pengendali *fan drive* lama menggunakan sistem seri, dimana motor 1 dan motor 2 dihubungkan secara seri yang berarti bahwa terminal jangkar dan terminal medan dari masing - masing motor dihubungkan secara seri. Kerugian dari sistem ini membutuhkan energi listrik yang besar dalam operasinya dan harmonik tinggi. Untuk menghindari penggunaan energi listrik yang besar dalam pengoperasian dan untuk meningkatkan kualitas harmonik sesuai standar maka sistem pengendalian motor dc sistem seri diperbaharui dengan sistem paralel. Dalam sistem paralel, setiap terminal jangkar motor dan terminal medan disuplai oleh sumber daya dan pengendali motor dc secara masing - masing. Pembaruan sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas sistem dalam meningkatkan layanan kepada para pengguna baik dari kalangan nasional maupun internasional.

**Kata Kunci**— Sistem Pengendali; Motor DC; Sistem Seri; Sistem Paralel; ILST.

### I. PENDAHULUAN

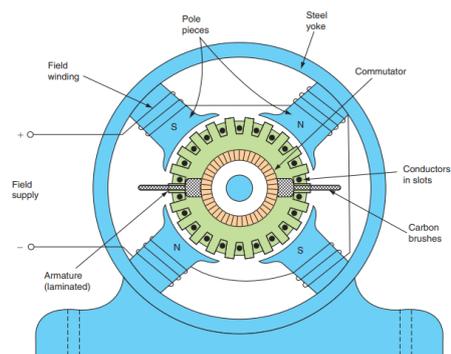
BPPT unit BBTA3 memiliki otoritas atau peran dalam menetapkan teknologi yang siap digunakan atau tidak diterapkan di Indonesia. Salah satu fasilitas yang dimiliki oleh BPPT unit BBTA3 adalah ILST (*Indonesia Low Speed Tunnel*) yang digunakan untuk menguji bidang aeronautika dan non-aeronautika. ILST merupakan terowongan angin kecepatan rendah dimana angin dihasilkan dari putaran *blade* yang diputar dengan menggunakan 2 buah motor dc yang dikendalikan secara serial. Kecepatan anggi yang dihasilkan bisa mencapai 70 m/s. Sumber daya listrik untuk terowongan angin kecepatan rendah BPPT unit BBTA3 Indonesia dipasok oleh 2 transformator milik BBTA3. Kapasitas beban yang dipasang untuk ILST adalah 3,2 MVA, dimana daya yang dipasang digunakan untuk kegiatan pengujian bidang aeronautika dan non-aeronautika seperti pengujian model pesawat, jembatan, kapal patroli, gedung, offshore platform, payung dan juga otomotif. ILST BPPT unit BBTA3 terletak di wilayah Tangerang Selatan. Sistem ILST yang akan diperbarui adalah pengendalian motor dc sistem seri dirubah menggunakan sistem paralel dimana setiap motor dc akan dipasok oleh setiap transformator dan drive secara masing - masing.

### II. DASAR TEORI

#### 2.1 Motor DC

Motor DC adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Kerja motor DC didasarkan pada prinsip bahwa ketika konduktor pembawa arus ditempatkan dalam medan magnet, ia mengalami gaya mekanik. Arah gaya mekanik diberikan oleh Aturan Tangan Kiri Fleming dan besarnya diberikan oleh  $F = BIL$  Newton. Pada dasarnya, tidak ada perbedaan konstruksi antara motor DC

dan generator DC. Mesin DC yang sama dapat dijalankan sebagai generator atau motor.



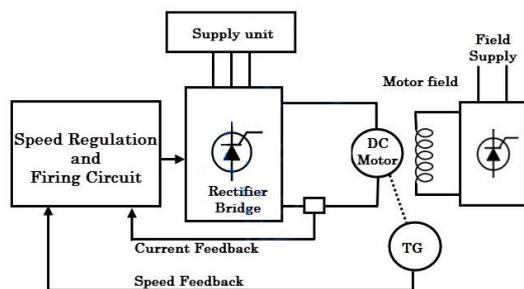
Gambar 1. Penampang Mesin DC

Ketika terminal motor terhubung ke sumber eksternal DC, medan magnet mengembang ke kutub Utara dan Selatan dimana konduktor membawa arus. Semua konduktor kutub utara membawa arus dalam satu arah sedangkan semua konduktor kutub selatan membawa arus dalam arah yang berlawanan. Konduktor jangkar kutub utara membawa arus ke permukaan dan konduktor kutub selatan membawa arus keluar dari permukaan. Karena setiap konduktor jangkar membawa arus dan ditempatkan di medan magnet, gaya mekanik bekerja. Saat menerapkan aturan tangan kiri Fleming, jelas bahwa gaya pada setiap konduktor cenderung memutar armatur ke arah yang berlawanan arah jarum jam. Semua ini untuk menghasilkan torsi penggerak yang membuat armatur berputar. Ketika konduktor bergerak dari satu sisi sikat ke yang lain, arus dalam konduktor terbalik.

Pada saat yang sama, ia berada dibawah pengaruh kutub berikutnya yang polaritasnya berlawanan. Akibatnya, arah gaya pada konduktor tetap sama. Perlu dicatat bahwa fungsi komutator di motor sama dengan generator. Dengan membalikkan arus pada masing-masing konduktor saat mengalir dari satu kutub ke kutub lainnya, membantu mengembangkan torsi kontinyu dan searah.

## 2.2 DC Drive

DC Drive pada dasarnya adalah sistem kontrol kecepatan motor DC yang mensuplai tegangan ke motor untuk beroperasi pada kecepatan yang diinginkan. Sebelumnya, tegangan DC variabel untuk kontrol kecepatan motor DC industri dihasilkan oleh generator DC. Dengan menggunakan motor induksi, generator DC didorong pada kecepatan tetap dan dengan memvariasikan bidang generator, tegangan variabel dihasilkan. Komponen utama sistem DC Drive ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. Komponen Sistem DC Drive

**Input DC Drive :** Beberapa DC Drive berbasis thyristor beroperasi pada suplai fasa tunggal dan menggunakan empat thyristor untuk perbaikan gelombang penuh. Untuk motor yang lebih besar, catu daya tiga fasa diperlukan karena bentuk gelombangnya jauh lebih halus. Dalam kasus seperti itu, enam thyristor diperlukan untuk perbaikan gelombang penuh.

**Rectifier Bridge :** Komponen daya DC Drive yang dikontrol adalah penyearah jembatan gelombang penuh yang dapat digerakkan oleh suplai tiga fasa atau fasa tunggal. Seperti disebutkan di atas, jumlah thyristor dapat bervariasi tergantung pada tegangan suplai. Jembatan enam thyristor (dalam hal konverter tiga fasa) memperbaiki suplai AC yang masuk ke suplai DC ke armatur motor. Kontrol sudut penyulutan dari thyristor ini memvariasikan tegangan ke motor.

**Unit Suplai Medan :** Daya yang akan diterapkan pada belitan medan jauh lebih rendah dari daya jangkar, jadi, paling sering menyediakan suplai fasa tunggal. Jembatan thyristor atau penyearah dioda yang terpisah digunakan untuk mensuplai daya ke belitan medan motor. Fungsi unit suplai medan adalah untuk memberikan tegangan konstan ke belitan medan untuk menciptakan medan atau fluks konstan pada motor. Dalam beberapa kasus, unit ini disuplai dengan thyristor untuk mengurangi tegangan yang diberikan ke medan sehingga dapat mengendalikan kecepatan motor diatas kecepatan dasar.

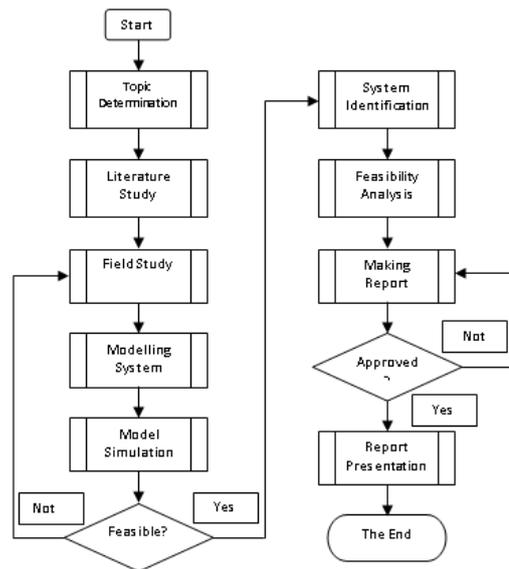
**Unit Regulasi Kecepatan :** Ini membandingkan instruksi operator (kecepatan yang diinginkan) dengan sinyal umpan balik dan mengirimkan sinyal yang sesuai ke sirkuit penyulutan. Dalam drive analog, unit pengatur ini terdiri dari regulator tegangan dan arus. Regulator tegangan

menerima kesalahan kecepatan sebagai masukan dan menghasilkan keluaran tegangan yang kemudian diterapkan pada regulator ini. Regulator ini kemudian menghasilkan arus penyulutan yang diperlukan ke sirkuit pembangkitan. Jika lebih banyak kecepatan diperlukan, arus tambahan disuplai dari regulator tegangan dan karenanya thyristor melakukan lebih banyak periode.

**Rangkaian Penyulutan :** Ini memasok pulsa gerbang ke thyristor sehingga mereka ON untuk periode tertentu untuk menghasilkan tegangan jangkar variabel. Isolasi juga disediakan disirkuit drive gerbang ini.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Proses penelitian ini diuraikan dalam tahapan sebagaimana dapat dilihat pada diagram alur berikut :

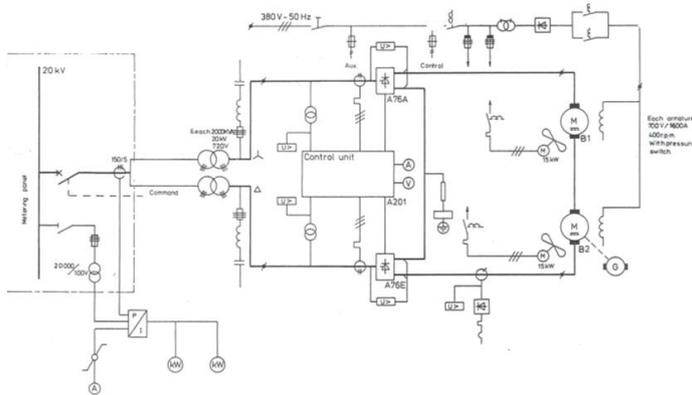


Gambar 3. Bagan alur metodologi penelitian

### A. Blok Diagram

Gambar 3 menjelaskan urutan dalam penelitian sebelum proses rekonstruksi dimana dalam menentukan sistem yang akan diinstalasi perlu adanya studi penelitian. Dalam penentuan sistem yang akan dipasang dimulai dari 2 ide yaitu sistem seri atau sistem paralel, dari 2 ide tersebut diuraikan baik dan buruknya terhadap sistem. Setelah dilakukan kajian melalui studi literatur dan lapangan berupa survey ke industri maka diputuskan untuk menggunakan sistem paralel. Setelah diputuskan sistem paralel maka dibuat suatu simulasi yang menggambarkan sistem paralel pada ILST. Hasil simulasi yang dilakukan memperlihatkan bahwa sistem paralel ini sesuai yang diharapkan maka selanjutnya masuk dalam tahap identifikasi sistem paralel yang akan dibuat. Dari sistem identifikasi inilah dibuat report pengajuan sistem paralel. Gambar 4 adalah blok diagram sebelum pembaruan. Dari blok diagram dibawah menunjukkan bahwa motor 1 dan motor 2 terhubung secara seri dan memiliki 2 blok kontrol thyristor, untuk mengontrol kecepatan putaran motor. Dari gambar itu dapat dilihat bahwa dua blok kontrol thyristor disuplai oleh 2

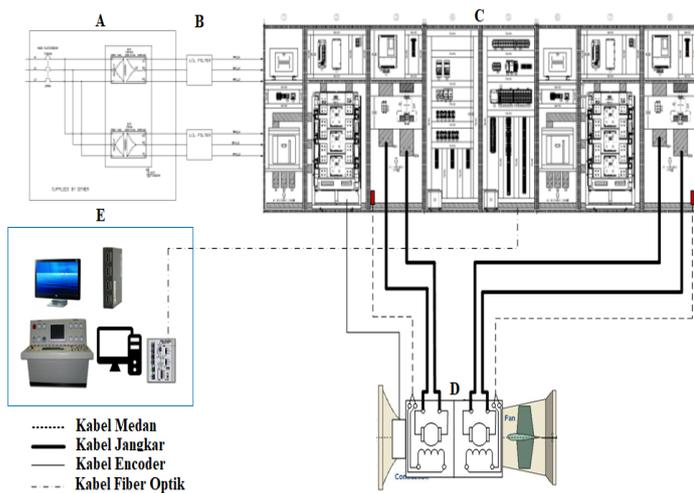
transformator, dimana masing - masing dari transformator ada yang dihubungkan secara bintang dan delta dengan tujuan mengendalikan harmonisa yang disebabkan oleh sistem seri. Sistem seri seperti ini membutuhkan banyak energi ketika bekerja dan kecepatannya tidak stabil.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem sebelum Pembaharuan

#### IV. MODERNISASI SISTEM PENGENDALIAN MOTOR DC DARI SISTEM SERI KE SISTEM PARALEL

Pertama, perlu ditentukan komponen mana yang akan digunakan untuk memenuhi persyaratan modernisasi. Desain ini dibuat untuk meningkatkan kinerja terowongan angin kecepatan rendah sehingga mendapatkan kecepatan yang stabil dengan penggunaan energi listrik yang relatif rendah.



Gambar 5. Diagram Blok Sistem setelah Pembaharuan

##### A. Transformator Daya

Jenis trafo yang digunakan untuk mensuplai daya listrik untuk motor dc, baik untuk *master* maupun *slave* menggunakan trafo kering buatan Korea Selatan, dengan spesifikasi :

Table 1. Spesifikasi Transformator Daya Untuk Motor DC

Transformator untuk Motor DC Master	Transformator untuk Motor DC Slave
-------------------------------------	------------------------------------

Parameter	Informasi	Parameter	Informasi
Fasa	3	Fasa	3
Frekuensi	50 Hz	Frekuensi	50 Hz
Kapasitas	1600 kVA	Kapasitas	1600 kVA
Tegangan (HV/LV)	20 kV/700 V	Tegangan (HV/LV)	20 kV/700 V
Arus (HV/LV)	46.2 A/1320 A	Arus (HV/LV)	46.2 A/1320 A
Kelas Insulasi (HV/LV)	F/F	Kelas Insulasi (HV/LV)	F/F
Vektor Grup	Dd6	Vektor Grup	Dyn5

##### B. Filter

Jenis *filter* yang digunakan untuk meningkatkan kualitas harmonik motor dc, baik untuk *master* dan *slave* menggunakan jenis *LCL Filter* buatan Spanyol, dengan spesifikasi :

Table 2. Spesifikasi LCL Filter Untuk suplai Motor DC

L Filter		C Filter	
Parameter	Informasi	Parameter	Informasi
Fasa	3 x 690 V	QN	3 x 246 $\mu$ F
Frekuensi	50 Hz	UN	690 V
Kapasitas	0.46 mH	IN	31 A
Tegangan	3 kV	Frekuensi	50 Hz
Arus	235 A	SH	3/15 kV
Tipe	P7036M	Manufaktur	Spain
Tahun	2017	Temperatur	-40/50 $^{\circ}$ C

##### C. DC Drive

Jenis *DC Drive* yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan motor dc, baik untuk *master* dan *slave* menggunakan tipe *Power Flex DC Drive* yang dibuat di Italia, dengan spesifikasi :

Table 3. Spesifikasi DC Drives Untuk Suplai Motor DC

Parameter	Informasi
Fasa	3
Frekuensi	50 Hz
Kapasitas	1400 HP
Tegangan	690 V
Arus	1582 A
Tipe Masukan	6 Pulse
Motor Operasi	Regen

##### D. Pengendali

Jenis pengendali *DC Drives* untuk motor dc, baik untuk *master* dan *slave* menggunakan PLC Allen Bradley buatan Italia, PLC yang digunakan menggunakan 12 slot, dengan spesifikasi :

Table 4. Spesifikasi PLC Allen Bradley Untuk Motor DC Drives

PLC Control Logix		Controller 5585E	
Parameter	Informasi	Parameter	Informasi
Sistem	Logix 5000	Controller Task	32 Task
Jenis Pengendali	5585E	Communications Port	USB/Ethernet Port
Manufaktur	Italy	USB Communications Port	USB 2.0/12 Mbps
Sumber Listrik	1 Slot	Ethernet Performance	10/100/1000 Mbps
Pengendali	1 Slot	Packet Rate Capacity	I/O: 128,000
Masukan Analog	1 Slot	Communication Options	EtherNet/IP, ControlNet, DeviceNet
Masukan RTD	2 Slot	EtherNet/IP Nodes Supported	300 nodes
Masukan DC	2 Slot	Network Connections	256 EtherNet/IP ; 128 TCP (1756-EN2x)
Keluaran DC	2 Slot	Integrated Motion	EtherNet/IP Network
Relai Keluaran	3 Slot	Programming Languages	RLL, Structured Text, FBD, SFC

#### F. Motor DC

Jenis Motor DC, baik untuk master dan slave menggunakan *Hollec* buatan Belanda, Motor DC yang terpasang termasuk jenis motor ganda. Motor DC ILST memiliki spesifikasi :

Table 5. Spesifikasi Motor DC

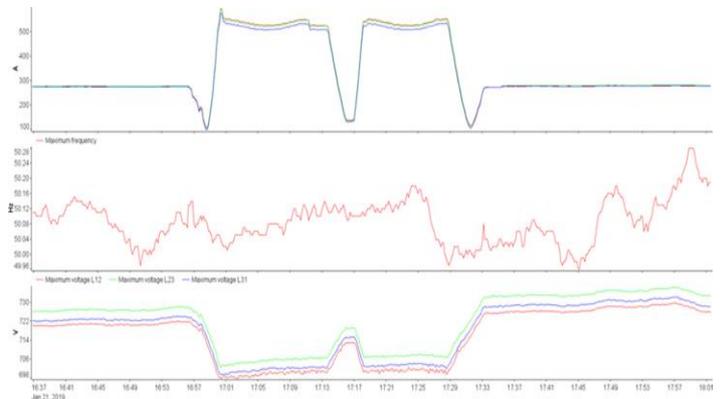
Parameter	Information
Fasa	1
Frekuensi	50
Kapasitas	2 x 1050 kW
Tegangan	2 x 700 V
Arus	1600 A
Kecepatan	400 - 455
Tegangan Medan	220 V
Arus Medan	14.4 A
Insulasi	F

Tahun	1986
-------	------

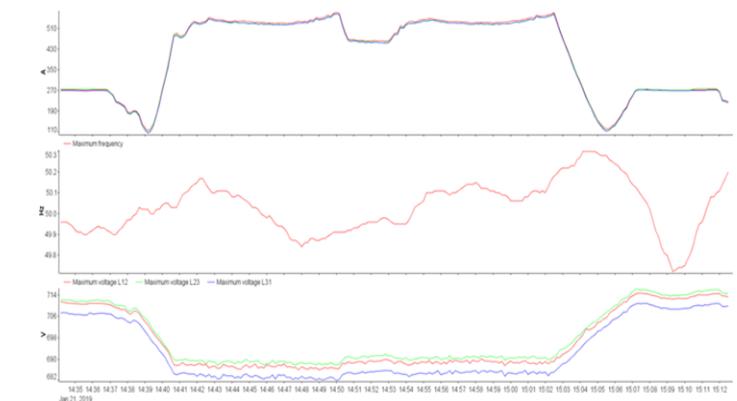
## V. ANALISIS

### A. Karakteristik Daya, Arus dan Tegangan

Setelah memasang *DC Drive* untuk kedua motor, kinerja sistem paralel ini dapat ditampilkan. Berikut ini adalah kemampuan kinerja untuk *DC Drive* Master dan Slave :



a. Motor DC Master



b. Motor DC Slave

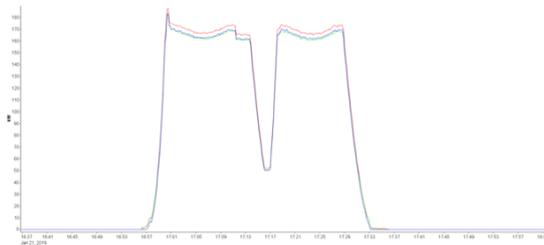
Gambar 6. Kurva Sistem Paralel Kinerja Motor DC

Gambar di atas menunjukkan bagaimana karakteristik arus, tegangan dan frekuensi dalam sistem motor dc paralel. Gambar 6.a memperlihatkan karakteristik motor dc master, dari grafik tersebut terlihat bahwa arus motor akan meningkat sesuai dengan kenaikan rpm yang diberikan pada sistem, ketika rpm diturunkan maka arus motor pun mengikuti set point rpm yang diberikan. Pada grafik ini juga bisa dilihat bahwa frekuensi motor stabil pada kisaran 49.97 Hz – 50.18 Hz. Untuk tegangan motor juga cenderung stabil berada pada kisaran 697.79 – 712.72 Volt. Gambar 6.b memperlihatkan karakteristik motor dc slave, dari grafik tersebut terlihat bahwa arus motor akan meningkat sesuai dengan kenaikan rpm yang diberikan pada sistem, ketika rpm diturunkan maka arus motor pun mengikuti set point rpm yang diberikan. Motor dc slave akan mengikuti karakteristik dari motor dc master. Pada grafik ini juga bisa dilihat bahwa frekuensi motor stabil pada kisaran 49.84 Hz – 50.30 Hz. Untuk tegangan motor juga cenderung stabil berada pada kisaran 686.32 – 689.90 Volt. Kedua grafik

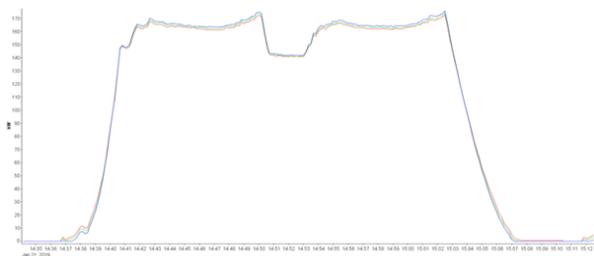
tersebut dioperasikan pada kecepatan 70 m/s dengan rpm 300.

### B. Konsumsi Daya

Penggunaan sistem paralel dalam mengendalikan kecepatan motor dc jauh lebih ekonomis daripada sistem serial karena tingkat konsumsi listriknya jauh lebih rendah. Dengan sistem ini konsumsi daya listrik turun hingga 75% pada kecepatan motor 300 rpm. Berikut ini adalah grafik dari sistem motor dc sistem paralel :



a. Motor DC Master



b. Motor DC Slave

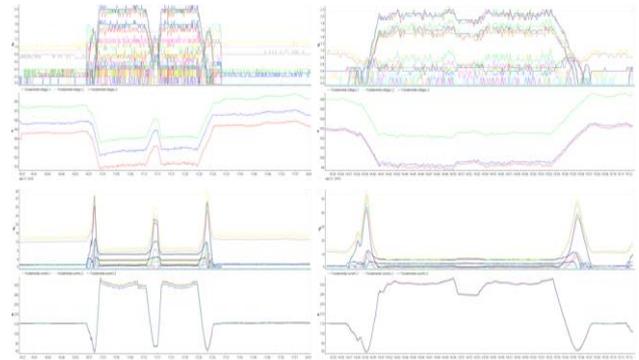
Gambar 7. Kurva Konsumsi Daya Listrik dari Sistem Paralel Motor DC

Konsumsi daya listrik motor dc master pada grafik 7.a berada pada kisaran 187.8 kW sesuai dengan naik turunnya rpm yang diberikan terhadap sistem. Sedangkan Konsumsi daya listrik motor dc slave pada grafik 7.b berada pada kisaran 172.9 kW sesuai dengan naik turunnya rpm yang diberikan terhadap sistem. Sehingga total daya yang dikonsumsi sistem berada pada kisaran 500 kW.

### C. Kualitas Harmonik

Kualitas harmonik dari sistem paralel motor dc sesuai dengan standar yang dipersyaratkan oleh IEEE, yaitu Harmonik Tegangan, untuk *rating* tegangan busbar  $\leq 69$  kV memiliki THD standar 5% dan standar per fasa 3% dan Harmonik Arus, untuk *rating* tegangan busbar  $\leq 69$  kV memiliki THD standar 15%. Berikut ini adalah grafik harmonik dari motor dc :

Grafik 8.a menunjukkan kualitas harmonik motor dc master, dari grafik tersebut memperlihatkan bahwa pada kecepatan 70 m/s memiliki THD Tegangan kurang dari 5% yaitu berada pada kisaran 2.10%, begitu juga perfasanya berada dibawah 3% yaitu pada kisaran 2%. Untuk THD arusnya 10.4% berada dibawah level yang dipersyaratkan sebesar 15%.



a. Motor DC Master      b. Motor DC Slave  
 Gambar 8. Kurva Kualitas Harmonik dari Sistem Paralel Motor DC

Grafik 8.b menunjukkan kualitas harmonik motor dc slave, dari grafik tersebut terlihat THD Tegangan kurang dari 5% yaitu berada pada kisaran 1.33%, begitu juga perfasanya berada dibawah 3% yaitu pada kisaran 1.30%. Untuk THD arusnya 6.43% berada dibawah level yang dipersyaratkan sebesar 15%.

## VI. KESIMPULAN

Sistem paralel Motor DC telah terbukti efektif dan efisien dalam penggunaan energi listrik dan sistem ini memiliki kecepatan konstan ketika motor beroperasi. Selain itu, dengan sistem ini kualitas harmonik tegangan dan arus sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh IEEE yaitu dibawah 5% untuk THD Tegangan dan dibawah 15% untuk THD Arus. Dari karakteristik arus, sistem ini mengikuti set poin yang diberikan kepada sistem. Tegangan cenderung stabil meskipun diberikan rpm tinggi sampai mencapai kecepatan 70 m/s dengan frekuensi tetap berada pada kisaran 50 Hz. Tingkat konsumsi daya listrik dengan menggunakan sistem paralel jauh lebih efisien daripada sistem seri yaitu pada kisaran 500 kW.

## VI. REFERENSI

- [1] Electro-Craft Corporation. DC Motors, Speed Controls, Servo Systems. Pergamon Press, 1977.
- [2] Hollec Project BV. "ILST Wind Tunnel PUSPIPTEK", Vol. 09, 1986.
- [3] Hariansyah, M and Syamsudin. Control of Electrical Drives. New York. Springer, 1995.
- [4] Zein El Din, A. S. "PLC-Based Speed Control of DC Motor," IEEE, IPEMC, 2006.
- [5] Amiri, Parviz and Baghheri, Mahsa. Speed Control of DC Motor by PLC with High Accuracy: HRPUB, 2013.
- [6] <http://www.lsis.com/product/product.aspx?c=P00116>.
- [7] <http://circutor.com/en/products/power-factor-correction-and-harmonic-filtering/harmonic-and-emi-filters>

- [8] <https://ab.rockwellautomation.com/Drives/PowerFlex-DC-20P#specifications>.
- [9] <https://ab.rockwellautomation.com/Programmable-Controllers/ControlLogix/5580-Controllers#specifications>