

SISTEM AKUISISI DATA PENGUJIAN KINERJA DAYA TURBIN ANGIN MENGUNAKAN FASILITAS TEROWONGAN ANGIN

Data acquisition system of wind turbine power performance testing by using Wind Tunnel Facilities

Subagyo¹, Muhamad Muflih² dan Andre Yulian Atmojo³

^{1,2}UPT-Laboratorium Aero Gas Dinamika dan Getaran BPPT, Tangerang Selatan, 15314, Banten, Indonesia

³Prodi Instrumentasi dan Kontrol Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta,
Depok 16425, Jawa Barat, Indonesia

Email: subagyo@bppt.go.id, muhamad.muflih@bppt.go.id, andredutamodjo@yahoo.com

Diterima: 18 Maret 2015, Direvisi: 23 Juni 2015, Disetujui: 30 Juni 2015

Abstrak

Kinerja daya sebuah turbin angin direpresentasikan sebagai grafik daya keluaran turbin angin terhadap kecepatan angin. Pengujian kinerja turbin selain diuji di lapangan dapat pula dilakukan dengan menggunakan fasilitas terowongan angin. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui sebuah sistem akuisisi data yang handal yang diperlukan dalam pengujian kinerja turbin angin ini. Konsep akuisisi data yang *user friendly, real time, terdistribusi dan terpadu berbasis embedded hardware* diaplikasikan. Konsep ini menghasilkan proses akuisisi data yang sederhana dan praktis tanpa meninggalkan kaidah pengujian kinerja daya sesuai standar IEC 61400-12-1.

Kata kunci: data akuisisi, terowongan angin, turbin angin, kinerja.

Abstract

The wind turbine power performance is represented by the ratio of the wind turbine output power to the wind speed. Besides on-site test, the turbine performance can also be tested by using wind tunnel facilities. The purpose of this study was to determine a reliable data acquisition system that is required in this wind turbine performance testing. The concept of a user friendly, real-time, distributed-integrated and embedded hardware-based data acquisition system is applied. This concept leads to a simple and practical data acquisition process without leaving main rules of power performance testing according to IEC 61400-12-1 standard.

Keywords: data acquisition, wind tunnel, wind turbine, power performance.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga angin adalah peralatan konversi energi kinetik angin menjadi energi listrik yang disebut turbin angin. Seperti halnya proses konversi energi yang lain, proses konversi energi dalam turbin angin juga menimbulkan rugi daya. Rugi daya ini membawa konsekuensi terdapat rasio antara energi listrik yang dihasilkan terhadap energi kinetik yang dikenakan oleh angin. Rasio ini disebut sebagai koefisien daya yang dapat direpresentasikan dalam kurva daya. Sesuai dengan teori Betz besarnya koefisien daya tidak akan lebih dari 0,593 (Rupp Carriveau, 2011). Koefisien daya dan kurva daya dapat menentukan penilaian kinerja global sebuah turbin angin (Pardalos dkk., 2013).

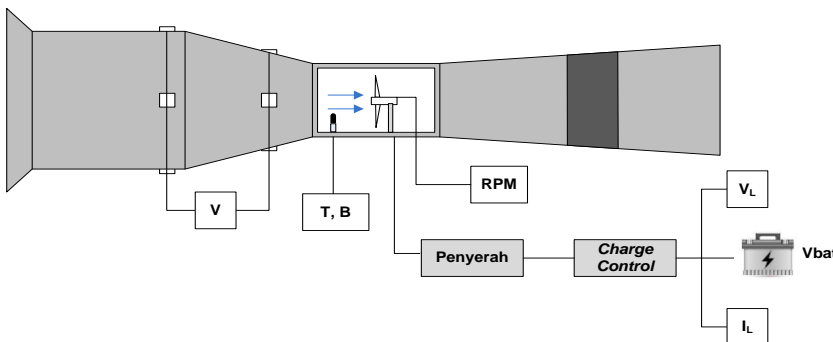
Kinerja daya sebuah turbin angin dapat diperoleh dari pengamatan terhadap kecepatan angin dan daya keluaran turbin angin di lapangan. Proses pengamatan ini diatur dalam standar IEC 61400-12-1 (IEC 61400-12-1, 2005). Proses survei kelayakan, pengkondisian, kalibrasi dan persiapan fasilitas lokasi pengamatan merupakan proses awal dan mengambil porsi waktu yang setidaknya selama satu tahun.

Selanjutnya bahwa pengukuran kinerja turbin angin di lapangan yang sangat tidak ekonomis secara teknis dapat digantikan dan dilakukan oleh UPT-LAGG BPPT yang memiliki fasilitas pengujian terowongan angin yang memadai dengan berbagai ukuran (Subagyo, 2013). Kemudian dalam rangka dapat mewujudkan pengukuran di terowongan angin diperlukan sistem akuisisi data seperti kondisi

sesungguhnya di lapangan. UPT-LAGG BPPT memiliki fasilitas terowongan angin dengan ukuran yang bervariasi. Pertama-tama dapat dilakukan pengembangan sistem akuisisi data dengan menggunakan terowongan angin yang besar seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Hanya saja dengan menggunakan terowongan yang besar sangat membutuhkan daya listrik yang sangat besar. Dengan pertimbangan tersebut penulis menggunakan fasilitas terowongan angin LSWT (LAGG *Small Wind Tunnel*) untuk dapat adaptasi standar IEC

61400-12-1 dan pengembangan sistem akuisisi data.

Parameter yang diamati adalah parameter lingkungan dan parameter kinerja turbin angin itu sendiri. Parameter lingkungan yang tercatat minimal terdiri atas kecepatan angin (v -m/s), arah angin, temperatur udara (T -K), tekanan barometrik (B -Pa), dan presipitasi. Parameter kinerja turbin angin terdiri atas daya (P -watt) yang diturunkan dari tegangan (V_L -volt) dan arus (I_L -ampere) keluaran turbin angin serta rotasi rotor per menit (rpm).



Gambar 1 Sistem akuisisi data dengan menggunakan terowongan angin yang besar.

Khusus untuk turbin angin kapasitas rendah yang diatur pada IEC 61400-12-1 Annex H, pengukuran diambil dan dicatat dengan frekuensi *sampling* 1 Hz. Jumlah sampel keseluruhan minimal mencakup 60 jam sampel data dalam keadaan operasi normal. Hasil pengukuran dan pencatatan kemudian dikelompokkan berdasar kecepatan angin per 0,5 m/s. Jumlah minimal sampel dalam masing-masing kelompok adalah sampel selama 10 menit pencatatan dalam rentang kecepatan 1 m/s di bawah *cut in* sampai dengan 14 m/s. Seluruh sampel data harus memenuhi syarat rentang arah angin tercatat tidak melebihi 286° . Data kemudian diproses dengan analisis statistik dan disajikan dalam nilai rata-rata, standar deviasi, nilai maksimum dan nilai minimum.

Perlu waktu yang relatif panjang guna memenuhi jumlah minimal data pengamatan yang sesuai amanat standar. Kecepatan dan arah angin pada lokasi pengamatan tidak dapat diatur sedemikian rupa dan sedemikian mudahnya sesuai kondisi yang diamanatkan standar. Perlu waktu pengamatan yang tidak dapat diprediksi 100% tepat untuk mendapatkan data sesuai standar. Perlu dicari metode yang efektif dan efisien guna pengukuran kinerja daya turbin angin bila menghadapi tenggat waktu yang singkat.

Fasilitas terowongan angin dapat menjawab masalah di atas. Terowongan angin

adalah suatu fasilitas mengalirkan angin yang dapat dikondisikan dalam kecepatan tertentu yang menyerpa objek pengamatan (Anon, 2014). Pengumpulan data kinerja daya dalam pengkondisian variasi kecepatan angin dalam waktu tertentu dengan arah yang homogen dapat dilakukan dengan bantuan terowongan angin. Berkaitan dengan hal tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebuah sistem akuisisi data yang handal yang diperlukan dalam pengujian kinerja turbin angin ini dengan menggunakan fasilitas terowongan angin.

Adaptasi standar perlu dilakukan dalam pengamatan ini. Terutama adaptasi prosedur pengambilan, pencatatan dan pengelompokan data hasil pengamatan. Peralatan pengambilan dan pengumpulan data yang handal diperlukan dalam pengamatan kinerja daya dengan fasilitas terowongan angin. Keandalan yang dimaksud adalah mampu untuk mengatur dan sinkronisasi pengambilan dan pencatatan data hasil pengamatan (Webster, 1999).

Keandalan yang lain adalah kemampuan untuk melakukan komputasi statistik yang dibutuhkan tanpa mengganggu proses pengambilan dan pencatatan data pengamatan. Bahkan bila dimungkinkan dapat terjadi interaksi dengan sistem kendali terowongan angin sehingga memungkinkan *full automatic measurement*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dewasa ini kebutuhan akan energi dalam menopang industri terus meningkat. Sejalan dengan terus terpakainya sumber energi fosil yang diramalkan akan berkurang pada tahun 2025 mendatang. Energi baru dan terbarukan dari angin merupakan alternatif yang potensial dan ramah lingkungan. Turbin angin adalah wahana penangkap energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang kemudian dapat dirubah menjadi energi listrik. Konversi energi listrik turbin angin telah diteliti dengan pendekatan aerodinamika menghasilkan efisiensi mencapai hampir 60% seperti dilansir dalam buku Rupp Carriveau yang berjudul *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*. Teknologi turbin angin telah banyak diterapkan di berbagai negara seperti disarikan oleh Pardalos, Panos M., dkk. dalam handbooknya yang berjudul *Handbook of Wind Power System*, 2013.

Kemudian dengan meluasnya pemakaian turbin angin industri desain dan manufaktur turbin angin semakin berkembang. Agar konsumen mendapat perlindungan dipandang perlu menerapkan standardisasi untuk turbin angin. Dengan berdasarkan pada standar internasional IEC 61400-12-1, *Wind Turbine Generator Systems* Indonesia perlu mengadaptasi untuk memiliki penguasaan sistem pengukuran kinerja turbin angin terutama sistem data akuisisi yang dipadu dengan fasilitas terowongan angin yang dijelaskan oleh Subagyo dalam makalah berjudul Fasilitas Uji Terowongan Angin Kecepatan Rendah Indonesia. Demikian juga mengenai terowongan angin jenis terbuka dibahas oleh Hasim, Fadilah dalam Laporan Teknik Terowongan Angin Kecil Sirkuit Terbuka $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$.

Prinsip-prinsip data akuisisi yang ditulis secara ringkas dalam buletin berjudul *Principles of Data Acquisition and Conversion* memberikan pengertian pemahaman mengenai sistem akuisisi data yang akan diterapkan. Selanjutnya pada sistem pengukuran tidak terlepas dari

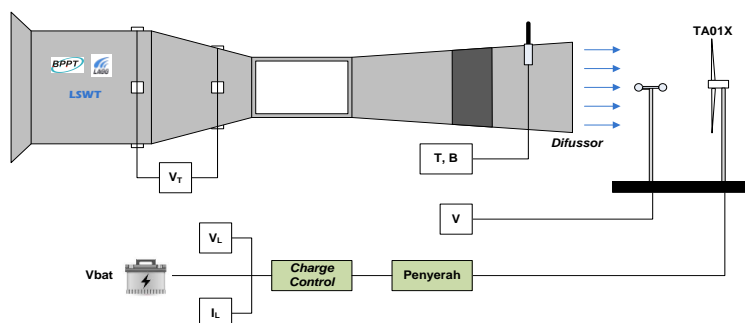
penggunaan sensor dan sistem instrumentasi dapat dipelajari dalam *handbook The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*, yang disusun oleh Webster, John G. Teknologi sensor dan intrumentasi saat ini akan lebih mudah jika menggunakan perangkat lunak LabVIEW yang dideskripsikan oleh Deliwala, Siddarth dalam *Introduction to Data Acquisition Systems and LabVIEW*, Detkin Lab, Pennsylvania, 1999. Dan yang terakhir komunikasi data lebih *user friendly* berbasis pada tulisan Blank, Andrew G., TCP/IP Foundation.

3. METODE PENELITIAN

Metoda yang dilakukan dalam penelitian ini dengan percobaan sebagai simulasi keadaan pengujian sebenarnya dalam penentuan desain sistem akuisisi data. Percobaan ini dilakukan pada fasilitas LSWT (LAGG *Small Wind Tunnel*) UPT-LAGG BPPT seperti dapat dilihat pada Gambar 2. LSWT adalah fasilitas terowongan angin sirkuit terbuka dengan kecepatan angin maksimum pada seksi uji sebesar 45 m/s. Seksi uji LSWT berdimensi $0,5 \times 0,5 \text{ m}^2$. Terowongan angin ini biasanya digunakan untuk kalibrasi anemometer, kalibrasi *pitot tube* dan riset (Fadilah, 2006).

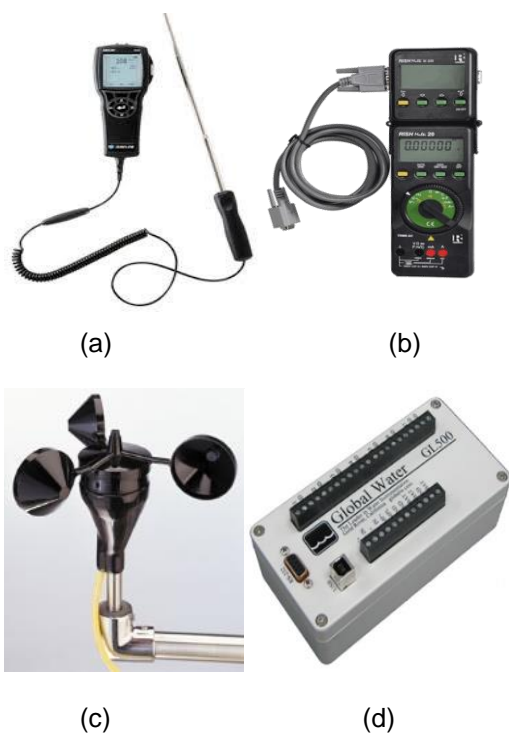
Turbin angin yang diuji adalah turbin angin yang dinyatakan perancangnya berkapasitas 300 watt pada 500 rpm dengan lebar bentang kincir 75 cm yang untuk selanjutnya disebut sebagai objek pengujian TA01X. Bentang kincir yang melebihi dimensi seksi uji mengakibatkan objek pengujian TA01X tidak diletakkan di dalam seksi uji seperti terlihat pada Gambar 2. Objek uji TA01X diletakkan di area setelah *difusser* kedua LSWT. Diameter *difusser* kedua LSWT sebesar 91 cm dengan kecepatan maksimum 17 m/s.

Perbedaan peletakan objek uji mengakibatkan kecepatan angin yang dikenakan berbeda dengan kecepatan angin di dalam seksi uji.



Gambar 2 Pemasangan sensor dan instrumen dalam pengujian kinerja daya turbin angin

Pengujian dilakukan dengan metoda variasi kecepatan angin dalam rentang 1 sampai dengan 12 m/s. Pengujian tidak diteruskan hingga 14 m/s dengan alasan keamanan karena ruang kontrol sementara masih berada dekat turbin angin pada kecepatan angin 14 m/s setara dengan kecepatan 50 km/jam yang dapat terjadi patah sudu turbin angin. Keadaan nol pada awal pengujian terukur dan tercatat sebagai *offset*. Pencatatan data pada setiap titik kecepatan angin ditandai oleh waktu yang sama dalam rentang waktu 2 menit dengan frekuensi sampel 1 Hz. Pencatatan dimulai setelah kecepatan angin stabil.



Gambar 3 (a) Rishabh Rish Multi 18S dan SI 232, (b) Anemometer Airflow TA-460, (c) Anemometer *three-cup* Global Water WE550, (d) *Data logger* Global Water GL500.

Instrumen yang digunakan dua buah multimeter Rishabh Rish Multi 18S guna mengukur V_L dan I_L . Keduanya terhubung ke *data logger* Rishabh Rish Multi SI 232. Kecepatan angin diukur oleh *3-cup anemometer* Global Water WE550 terhubung dengan *data*

logger Global Water GL500. Pengukuran temperatur dan tekanan barometrik menggunakan anemometer multifungsi Airflow TA-460 dalam fungsi *data logging*. Seluruh *data logger* telah disamakan waktunya dengan komputer.

Keakuratan dan kepresisian data hasil pengukuran tidak dititikberatkan dalam pengujian ini. Prioritas pengamatan adalah penyelidikan prosedur pengambilan data, kesesuaian *hardware*, alur data, dan interaksi sistem akuisisi data dengan sistem kontrol terowongan angin. Data tersebut akan digunakan sebagai referensi desain sistem akuisisi data.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

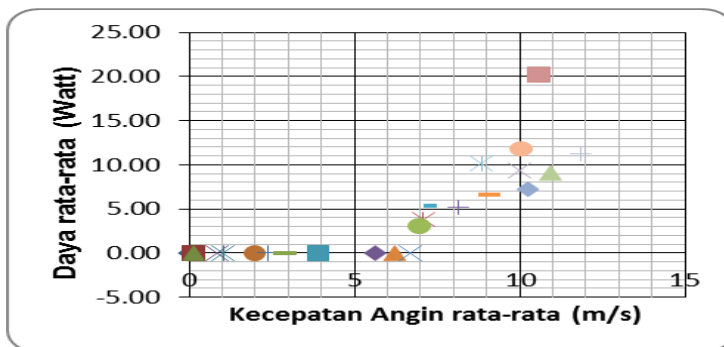
Durasi pengujian selama 35 menit 30 detik menghasilkan 2130 sampel. Data kecepatan angin dan daya hasil pengujian kemudian diproses menghasilkan nilai rata-rata, standar deviasi, nilai maksimum dan minimum setiap 1 menit, sehingga mengerucut menjadi 24 data. Data temperatur dan tekanan barometrik yang cenderung konstan tidak dilakukan pemrosesan statistik. Data terukur pada saat kondisi transisi antar titik kecepatan tereliminasi karena analisis dilakukan pada saat kecepatan konstan.

Tabel 1 menampilkan hasil pengujian kinerja daya yang membandingkan data rata-rata kecepatan angin, daya, temperatur dan tekanan barometrik. Data antara nol sampai dengan 1/ms sebelum keadaan *cut in* tidak ditampilkan. Keadaan *cut in* terlihat pada waktu 18.42.25, dimana arus mulai mengalir dan daya mulai terukur saat kecepatan angin 7 m/s. Daya rata-rata tercatat tertinggi pada kecepatan angin 10,5 m/s dengan nilai 0,20 watt. Cek silang terhadap spesifikasi yang dinyatakan produsen tidak dapat dilakukan karena data RPM objek uji tidak diukur. Tapi dilihat dari kecenderungan daya rata-rata yang menuju saturasi pada kecepatan angin 11 m/s maka kemungkinan besar objek uji telah melampaui daerah *rated*-nya. Daya *rated* 300 watt pada 500 rpm tidak akan pernah tercapai bila mengacu pada data di atas. Artinya spesifikasi objek uji tidak sesuai kinerja nyata. Hasil pengukuran lebih jelas terlihat dalam Gambar 4.

Tabel 1 Hasil pengujian kinerja daya objek uji TA01X.

Waktu	V Avg (m/s)	P Avg (W)	T (K)	B (Pa)
2014.03.11 18:22:53	0.00	0.00	300.75	1007
...

Waktu	V Avg (m/s)	P Avg (W)	T (K)	B (Pa)
2014.03.11 18:40:37	6.02	0.00	300.75	1007
2014.03.11 18:42:25	7.32	3.80	300.75	1007
2014.03.11 18:43:25	7.05	3.05	300.75	1007
2014.03.11 18:44:59	8.40	5.17	300.75	1007
2014.03.11 18:45:59	8.44	5.31	300.75	1007
2014.03.11 18:47:34	9.43	6.66	300.85	1007
2014.03.11 18:48:34	9.73	7.24	300.85	1007
2014.03.11 18:50:04	9.97	20.22	300.85	1007
2014.03.11 18:51:04	10.91	9.09	300.95	1007
2014.03.11 18:52:17	10.74	9.37	300.95	1007
2014.03.11 18:53:17	10.94	10.13	300.95	1007
2014.03.11 18:54:33	12.10	11.80	301.05	1007



Gambar 4 Daya rata-rata vs kecepatan angin rata-rata.

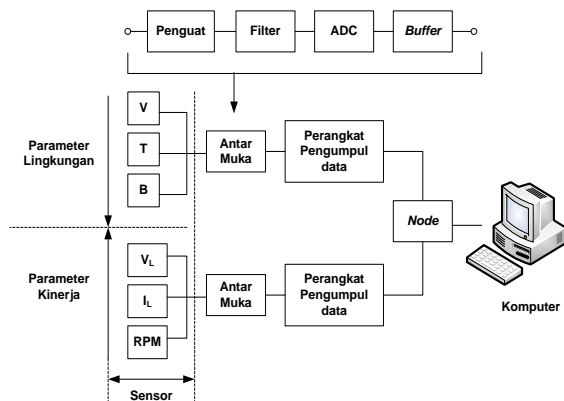
Terdapat beberapa data hasil pencatatan data *logger* yang tidak terpakai dalam analisis lanjut. Terutama data tercatat saat kondisi kecepatan angin naik dari satu titik ke titik pengambilan data yang lain.

Guna menghemat pemakaian memori data ini tidak perlu dicatat hanya perlu untuk *monitoring* saja. Berkaitan dengan *monitoring*, frekuensi sampling *monitoring* minimal sebesar 10 kali frekuensi sampling pengambilan data (Anon, 1999). Sejalan dengan bertambahnya frekuensi *sampling* hingga 10 Hz maka hendaknya perlu dipikirkan waktu tunda yang terjadi saat pengambilan data sampai dengan transmisi data menuju komputer.

Berdasarkan pembagian parameter pengukuran ke dalam parameter lingkungan dan parameter kinerja, sistem data akuisisi dapat didesain seperti terlihat dalam Gambar 5. Parameter pengukuran yang direpresentasikan sebagai tegangan analog hasil pembacaan sensor perlu dikondisikan terlebih dahulu oleh perangkat antar muka sebelum diumpankan ke

perangkat pengumpul data. Perangkat pengkondisi sinyal biasanya terdiri atas penguat, filter, *Analog to Digital Converter* (ADC) dan *buffer*. Hasil pengkondisian sinyal adalah bentuk digital dari sinyal analog pembacaan sensor (Webster, 1999).

Beberapa aspek yang mempengaruhi kinerja sistem akuisisi data antara lain adalah proses *sampling*, resolusi, waktu konversi, non-linearitas, *settling time*, dan transmisi data (Deliwala, 1999).



Gambar 5 Diagram blok sistem akuisisi data.

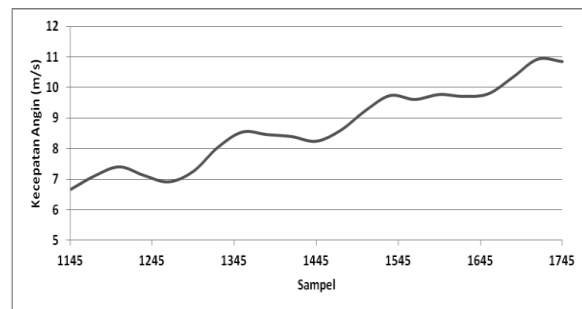
ADC merupakan komponen utama sistem akuisisi data yang membawahi lima aspek pertama. Semakin rapat proses sampling, semakin tinggi resolusi, *settling-time* dan waktu konversi yang relatif singkat serta kenon-linearitasan yang mendekati nol memberikan kualitas ADC yang mumpuni. Bila ditambah dengan transmisi data yang lancar, tingkat kesalahannya rendah, dan diharapkan mendekati *real-time* akan membangun sebuah sistem data akuisisi yang handal.

Perangkat pengumpul data dapat berupa *data logger* atau perangkat *embedded*. Salah satu keuntungan menggunakan perangkat *embedded* adalah aplikasi komputasi terdistribusi. Komputasi transformasi nilai besaran terukur dan statistik dapat dilakukan pada perangkat *embedded* kemudian diumpankan ke komputer untuk digabung dengan data yang lain. Komunikasi via ethernet dengan protokol TCP/IP dapat diaplikasikan dalam jalur komunikasi perangkat *embedded* dengan komputer. Komunikasi via ethernet dengan protokol TCP/IP memungkinkan kecepatan transmisi data, konsistensi dan reliabilitas data dapat dipertahankan (Blank, 2004).

Aplikasi komputasi terdistribusi menjadikan kerja komputer akuisisi data lebih

ringan. Hal ini memungkinkan berjalannya proses pengolahan dan presentasi data dalam komputer akuisisi data sekaligus berinteraksi dengan sistem kendali terowongan angin. Terutama ketika ingin melakukan pengujian dengan metode *full automatic measurement*.

Metode ini perlu pendefinisian keadaan transisi antar kecepatan angin juga keadaan kecepatan angin stabil dan siap untuk pengambilan data. Seperti terlihat pada Gambar 6, keadaan transisi ditunjukkan garis yang cenderung naik dan keadaan stabil ditunjukkan garis yang cenderung konstan. Keadaan tersebut dipertimbangan dalam penentuan metode *trigger* pengambilan data.



Gambar 6 Kecepatan angin rata-rata setiap 20 sampel dari sampel ke 1145 sampai dengan 1175.

Idealnya saat pengambilan data kecepatan angin dijaga konstan. Fakta yang didapat dari hasil pengujian objek uji TA01X terjadi fluktuasi kecepatan angin yang signifikan. Terlihat dari standar deviasi serta simpangan antara nilai maksimum dan minimum pada Tabel 2. Semakin tinggi kecepatan angin semakin tinggi pula kedua nilai simpangan tersebut. Fenomena ini terjadi karena efek arah angin yang tidak seragam pada area setelah *difusser* kedua. Pengkondisian area uji diperlukan agar arah angin seragam. Bila arah angin seragam dan kecepatan angin terjaga konstan tidak diperlukan terlalu banyak data dalam analisis sehingga durasi pengujian dapat dipersingkat.

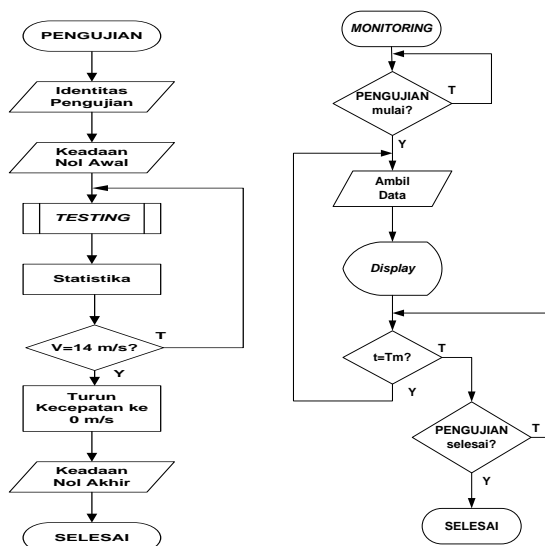
Tabel 2 Data kecepatan angin hasil pengujian kinerja daya objek uji TA01X.

Waktu	V avg (m/s)	V STD	V Max	V Min
2014.03.11 18:22:53	0.00	0.00	0.00	0.00
...
2014.03.11 18:40:37	6.02	0.61	7.37	4.88
2014.03.11 18:42:25	7.32	0.69	8.63	5.14
2014.03.11 18:43:25	7.05	0.77	8.52	4.64
2014.03.11 18:44:59	8.40	0.89	10.56	5.99
2014.03.11 18:45:59	8.44	0.86	10.40	6.31

Waktu	V avg (m/s)	V STD	V Max	V Min
2014.03.11 18:47:34	9.43	0.86	11.78	7.83
2014.03.11 18:48:34	9.73	0.82	11.89	7.28
2014.03.11 18:50:04	9.97	0.91	11.92	8.08
2014.03.11 18:51:04	10.91	0.99	13.01	7.92
2014.03.11 18:52:17	10.74	0.95	12.66	8.86
2014.03.11 18:53:17	10.94	1.14	13.21	8.51
2014.03.11 18:54:33	12.10	1.11	14.44	9.22

Cek silang hasil pengujian dengan adaptasi standar IEC 61400-12-1 menghasilkan prosedur pengujian. Terdapat dua proses utama yaitu proses pengujian dan proses monitoring. Proses pengujian berkaitan dengan pengambilan data parameter pengukuran kinerja daya sedangkan proses monitoring ditujukan hanya untuk kepentingan pemantauan semata.

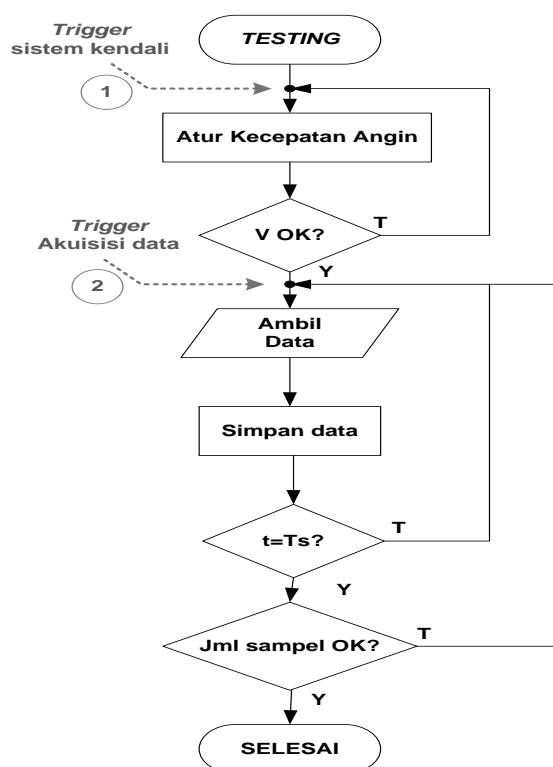
Proses monitoring dilakukan sesaat setelah proses pengujian dimulai dan berakhir sesaat setelah proses pengujian selesai. Komputasi terdistribusi menggunakan perangkat *embedded* dapat diaplikasikan pada subrutin *TESTING* dan proses Statistika dengan sinkronisasi dilakukan oleh komputer. Selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram alir prosedur pengujian dan monitoring.

Identitas pengujian mencakup keterangan objek uji, waktu pengujian dimulai, operator pengujian, konfigurasi perangkat pengujian dan keterangan lainnya yang dibutuhkan. Keadaan nol pada awal dan akhir pengujian hendaknya diambil dan dicatat. Data keadaan nol digunakan sebagai nilai *offset* (Webster, 1999). Terutama

untuk data tegangan V_L yang terhubung dengan baterai sehingga mempunyai nilai awal tidak selalu sama dengan nol.



Gambar 8 Diagram alir subrutin testing.

Periode sampling pada proses pengujian ditunjukkan oleh T_s dan pada proses monitoring ditunjukkan oleh T_m , dengan minimal $T_m = 10 \times T_s$. T_s diaplikasikan dalam subrutin *testing*. Interaksi sistem akuisisi data dan sistem kendali terowongan angin tergantung pada manajemen *triggering* yang terlihat pada node 1 dan 2 pada subrutin *testing* serta pada proses perubahan kecepatan angin dalam prosedur pengujian. Durasi pengujian ditentukan oleh manajemen *triggering* dan jumlah sampel setiap kecepatan yang diambil. Diagram alir subrutin *testing* dapat dilihat pada Gambar 8.

5. KESIMPULAN

Pengujian kinerja turbin angin yang mengacu pada standar IEC 61400-12-1 dapat dilakukan menggunakan fasilitas terowongan angin. Tentunya dengan melakukan adaptasi tanpa mengubah kaidah yang diamanatkan standar. Penghematan waktu dan biaya dapat dicapai dibanding dengan pengamatan lapangan. Sistem akuisisi data dengan aplikasi metode komputasi terdistribusi menggunakan perangkat *embedded* dapat digunakan dalam pengujian di atas. Kinerja komputer akuisisi data dapat dioptimalkan sehingga memungkinkan integrasi proses pengolahan dan presentasi data serta interaksi dengan sistem kendali terowongan angin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anon. (1999). *Principles of Data Acquisition and Conversion*. Burr-Brown Application Bulletin. Tucson.
- Anon. (2014). *Wind Tunnel*. Diakses 2014 dari http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_tunnel.
- Blank, Andrew G. (2004). *TCP/IP Foundation*. SYBEX. San Francisco. P.10-11.
- Deliwala, Siddarth. (1999). *Introduction to Data Acquisition Systems and LabVIEW*. Detkin Lab. Pennsylvania.
- Desain Aerodinamik. UPT. LAGG BPPT, 2006, P.22-31. Tidak dipublikasikan.
- Hasim, Fadilah. (2006). *Terowongan Angin Kecil Sirkuit Terbuka 0.5x0.5 m2*.
- IEC 61400-12-1. (2005). *Wind Turbine Generator Systems Part 12-1: Power Measurements of Electricity Producing Wind Turbines*. Geneva.
- Pardalos, Panos M., dkk. (2013). *Handbook of Wind Power System*. Springer. Heidelberg. P.673.
- Rupp Carriveau. (2011). *Fundamental and Advanced Topics in Wind Power*. Intech.
- Subagyo. (2013). *Fasilitas Uji Terowongan Angin Kecepatan Rendah Indonesia*. Jurnal Energi dan Manufaktur. Vol.6 No.1.
- Webster, John G. (1999). *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook*. Springer. Heidelberg.