PROTOTYPE WIND TUNNEL SEBAGAI KALIBRATOR ANEMOMETER PROTOTYPE WIND TUNNEL AS CALIBRATOR ANEMOMETER

Muhammad Reza Maulana Aliva^{1*}, Hapsoro A. Nugroho¹

¹Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta

*Email : rezaaliva7@gmail.com

ABSTRAK

Informasi kecepatan angin merupakan salah satu parameter yang diperlukan BMKG yang diukur dengan menggunakan anemometer. Oleh karena itu diperlukan kalibrasi terhadap anemometer agar menghasilkan data kecepatan angin yang tepat dan akurat dengan menggunakan wind tunnel. Wind tunnel atau terowongan angin adalah suatu alat untuk melakukan studi dan penelitian mengenai interaksi antara gerakan udara dengan benda-benda yang ada didalam aliran udara. Wind Tunnel dalam kalibrasi peralatan meteorologi adalah alat kalibrator untuk kecepatan angin yang dapat menghasilkan angin laminar yang kecepatannya dapat dikontrol sehingga dapat digunakan untuk kalibrasi sensor kecepatan angin. Penelitian ini dilakukan untuk perancangan prototipe wind tunnel, dimana profil kecepatan angin diukur untuk mengetahui intensitas turbulensi dengan mengendalikan kecepatan motor kipas pada wind tunnel. Perancangan prototipe ini bertujuan untuk menunjang kegiatan belajar praktek kalibrasi peralatan meteorologi di STMKG agar taruna/i mengetahui proses kalibrasi anemometer menggunakan wind tunnel. Wind tunnel hasil rancangan dan implementasi memiliki panjang total 150 cm dengan intensitas tubulensi antara 3.11 % sampai 6.55 %. Anemometer Casella dengan nilai koreksi 0.05 m/s setelah proses kalibrasi digunakan sebagai standar dalam melakukan proses kalibrasi.

Kata Kunci : Wind tunnel, anemometer, kalibrasi, intensitas tubulensi

ABSTRACT

Wind speed information is one of the required parameters of BMKG and is measured using an anemometer. Therefore, calibration of an anemometer is required to produce precise and accurate wind speed data using wind tunnel. Wind tunnel is a vehicle to studies and research on the interaction between air movement with objects in the air flow. Wind Tunnel in calibration of meterorologi equipment is a calibrator for wind speed which can produce laminar wind which its speed can be controlled so that it can be used for wind speed sensor calibration. This research was conducted to design the wind tunnel prototype, where the wind velocity profile is measured to know the intensity of turbulence by controlling the speed of fan motor in wind tunnel. The design of this prototype aims to support the learning activity of calibration practice of meteorology equipment in STMKG so that cadets know the calibration process of anemometer using wind tunnel. The design and implementation wind tunnel has a total length of 150 cm with intensity of turbulence between 3.11% to 6.55% . Casella anemometer with a correction 0.05 m/s after the calibration process is used as a standard in performing the calibration process.

Keyword : Wind tunnel, anemometer, calibration, intensity of turbulence

1. PENDAHULUAN

BMKG berdasarkan Undang-Undang No. 31 Tahun 2009 tentang MKG memiliki beberapa kegiatan operasional seperti pengamatan meteorologi dan iklim, salah satu unsur dalam pengamatan tersebut adalah kecepatan angin. Pengamatan kecepatan angin menggunakan anemometer sebagai peralatan pengamatan. Undang-undang tersebut juga mengatur bahwa peralatan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika di lingkungan BMKG harus laik operasi, oleh karena itu peralatan harus dikalibrasi. Hal itu juga diperkuat dalam Peraturan Pemerintah Nomor 46 Tahun 2012 tentang Penyelenggaraan Pengamatan dan Pengolahan Data Meteorologi, Klimatologi yang menyatakan bahwa “Untuk menjamin laik operasi, peralatan pengamatan wajib dilakukan Kalibrasi”. Kalibrasi anemometer dilakukan secara berkala menggunakan wind tunnel, dimana kecepatan angin dalam tunnel dapat diatur yang kemudian dibandingkan dengan kecepatan angin yang terukur oleh anemometer yang akan dikalibrasi.

Wind tunnel dalam kalibrasi peralatan meteorologi adalah media kalibrasi untuk kecepatan angin yang dapat menghasilkan angin laminar yang kecepatannya dapat dikontrol sehingga dapat digunakan untuk kalibrasi sensor kecepatan angin. Wind tunnel terdiri dari beberapa bagian yaitu: settling chamber, contraction cone, test section, diffuser dan drive section. Perancangan prototipe ini menggunakan motor listrik dan *fan* yang dapat diatur kecepatan yang terletak di *drive section* untuk menghasilkan hembusan angin di dalam *wind tunnel*.

Tujuan dalam perancangan *wind tunnel* ini antara lain: merancang dan membuat prototipe wind tunnel sebagai kalibrator anemometer, mengetahui desain wind tunnel yang baik agar menghasilkan aliran udara yang seragam dengan tingkat turbulensi serendah mungkin, dan menghitung tingkat intensitas turbulensi di dalam *wind tunnel*.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain: penunjang kegiatan belajar mengajar praktek kalibrasi peralatan meteorologi di STMKG, menambah ilmu pengetahuan mengenai desain *wind tunnel* yang baik, dan menambah ilmu pengetahuan tentang tata cara pengukuran tingkat turbulensi aliran udara di dalam *wind tunnel*.

1.1 Kalibrasi

Kalibrasi adalah kegiatan yang menghubungkan nilai yang ditunjukkan oleh instrumen/alat ukur atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur dengan nilai yang sudah diketahui tingkat kebenarannya (yang berkaitan dengan kisaran yang diukur) dalam kondisi tertentu menurut *International Organization for Standardization (ISO) / International Electrotechnical Commission (IEC) Guide 17025 : 2005 dan Vocabulary of International Metrology (VIM)* (Marpaung, 2015).

1.2 Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena perbedaan tekanan di permukaan bumi. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi matahari, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Perbedaan suhu tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara. Perubahan panas antara siang dan malam merupakan gerak utama sistem angin harian, karena beda panas yang kuat antara udara di atas darat dan laut atau antara udara di atas tanah tinggi (pegunungan) dan tanah rendah (lembah) (Tjasyono H.K., 2012).

1.3 Anemometer

Anemometer adalah suatu alat (instrumen) yang digunakan untuk mengukur arah dan kecepatan angin. Anemometer dapat dibagi dalam dua kategori yaitu alat untuk mengukur kecepatan (velocity) dari angin dan alat untuk mengukur tekanan dari angin.

1.4 Wind Tunnel

Wind tunnel merupakan peralatan uji berbentuk terowongan dimana udara dipaksa melaju dengan kecepatan yang diatur untuk mempelajari efek aliran aerodinamis dari suatu benda (Shaleh, 2015). *Wind tunnel* diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu tipe terbuka dan tipe tertutup. Perancangan ini menggunakan tipe terbuka dengan bagian utama terdiri dari *settling chamber*, *contraction cone*, *test section*, *diffuser* dan *drive section*.

1.4.1 *Settling Chamber*

Bagian ini terdiri dari *screen* yang berbentuk saringan kawat dan *honeycomb* yang berbentuk sarang lebah. *Honeycomb* berfungsi mengurangi tingkat turbulensi dan ketidakseragaman aliran udara yang masuk menurut Mehta dan Bradshaw. Mehta dan Bradshaw juga merekomendasikan rasio antara panjang dan diameter *cell honeycomb* berkisar antara 7 sampai 10 (Cattafesta dkk., 2010).

Screen dipasang memecah turbulensi udara yang masuk sehingga tingkat turbulensi dapat dikurangi menurut Spangenberg dan Klebanoff (Cattafesta dkk., 2010).

1.4.2 *Contraction cone*

Ukuran dan bentuk dari *contraction cone* menentukan tingkat turbulensi akhir di bagian test section menurut Derbunivich dkk. (Cattafesta dkk., 2010). Fungsi dari *contraction cone* adalah mempercepat aliran udara dari settling chamber menuju test section dan membantu mengurangi ketidakseragaman dan tingkat turbulensi aliran udara yang masuk ke test section.

Percepatan, ketidakseragaman, dan tingkat turbulensi aliran udara tergantung pada rasio kontraksi, yakni rasio luas penampang pada saat masuk dan keluar *contraction cone*.

1.4.3 *Test section*

Test section merupakan bagian dimana model yang akan diuji ditempatkan. Oleh karena itu kecepatan yang diinginkan dan kualitas aliran udara harus menjadi perhatian utama dalam perancangan sebuah *wind tunnel*.

1.4.4 *Diffuser*

Diffuser merupakan bagian wind tunnel yang terletak antara test section dan driver section. Bagian ini bertujuan untuk memperlambat aliran udara yang tinggi dari test section sehingga mencapai pemulihan tekanan statis dan mengurangi beban sistem drive (Cattafesta dkk., 2010).

Barlow, Rae, dan Pope menyatakan bahwa untuk diffuser berbentuk kerucut dengan perbedaan setengah sudut dinding diffuser kurang dari 3.5° untuk desain yang baik. Mehta menyatakan bahwa sudut diffuser termasuk untuk diffuser berbentuk kerucut antara 5° (untuk kemampatan aliran terbaik) dan 10° (untuk pemulihan tekanan terbaik) (Cattafesta dkk., 2010).

1.4.5 *Drive section*

Drive section merupakan bagian dari wind tunnel yang terdiri dari fan dan motor listrik yang bertujuan untuk menjaga kecepatan aliran udara dalam wind tunnel tetap konstan. Motor listrik merupakan suatu perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik yang digunakan adalah motor induksi satu fasa.

2. PERANCANGAN SISTEM

2.1 Blok diagram

Blok diagram dalam sistem *wind tunnel* terdiri dari 5 bagian mulai dari awal udara masuk sampai udara keluar dan 1 bagian kontrol motor yang ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut:

Gambar 2.1 Blok diagram sistem

2.2 Diagram alir sistem

Diagram alir sistem akan menjelaskan mulai dari proses inialisasi *port* sensor kecepatan angin Casella dan modul *infrared*, menyalakan *drive section*, mengatur kecepatan *drive section*, bagian-bagian *wind tunnel* yang dilewati aliran udara, sampai pengolahan data kecepatan aliran udara dan putaran *fan* dan motor listrik di *drive section* oleh mikrokontroler. Diagram alir sistem dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut:

Gambar 2.2 Diagram alir sistem

2.3 Perancangan wind tunnel

Perancangan sistem *wind tunnel* berupa *wind tunnel* tipe terbuka yang terdiri dari 5 bagian utama yaitu: *settling chamber*, *contraction cone*, *test section*, *diffuser* dan *drive section*, dengan penjelasan sebagai berikut:

2.3.1 Settling chamber

Settling chamber dirancang dengan ukuran 80 cm × 80 cm berdasarkan ukuran *contraction* dan panjang 15 cm berdasarkan ukuran *honeycomb*. *Cell honeycomb* dengan bahan pipa pvc berukuran diameter 1.5 cm dan panjang 12 cm dengan rasio antara panjang dan diameter sebesar 7, sesuai dengan rasio yang direkomendasikan yaitu antara 7 sampai 10.

2.3.2 Contraction cone

Contraction cone dirancang dengan ukuran penampang masuk sebesar 80 cm × 80 cm dan penampang keluarannya sebesar 40 cm × 40 cm sesuai dengan ukuran *test section* dengan panjang 20 cm. Perbandingan luas penampang masuk dan luas penampang keluar (*contraction ratio*) sebesar 4 (6400:1600), sesuai dengan rasio kontraksi yang direkomendasikan yaitu 4

sampai 6. Bahan yang digunakan adalah *stainless steel* dengan tebal 0.8 mm.

2.3.3 Test section

Test section dirancang dengan ukuran 40 × 40 cm dengan panjang 40 cm. Bahan yang digunakan untuk membuat bagian ini adalah akrilik bening dengan ketebalan 5 mm agar pengamatan alat diuji mudah dilakukan.

2.3.4 Diffuser

Diffuser dirancang dari bahan plat *stainless steel* dengan tebal 0.8 mm. Penampang masukan berbentuk persegi dengan ukuran 40 cm × 40 cm sesuai dengan ukuran *test section*, penampang keluaran juga berbentuk persegi dengan ukuran 50 cm × 50 cm sesuai dengan diameter *fan*, dan panjangnya 40 cm. Sudut *diffusion* (θ) yang dibentuk sebesar $\arctan(5/40) = 7^\circ$, sesuai dengan sudut *diffusion* yang direkomendasikan sebesar 5° sampai 10° .

2.3.5 Drive section

Drive section yang digunakan dalam perancangan ini adalah *tube axial fan* karena memiliki *housing fan* berbentuk tabung dan menghasilkan aliran fluida dengan tekanan rendah dan jumlah volume udara besar. Ukuran *fan* 20 inch / 50 cm seperti gambar 3.13, kecepatan 1400 rpm, *air flow* 3345 CFM, dan motor 1 *phase* dengan daya 200 watt.

3. IMPLEMENTASI SISTEM

Implementasi sistem *wind tunnel* berupa *wind tunnel* tipe terbuka yang terdiri dari 5 bagian utama yaitu: *settling chamber*, *contraction cone*, *test section*, *diffuser* dan *drive section*, dengan penjelasan sebagai berikut:

3.1 Settling chamber

Settling chamber dibuat dengan ukuran 40 cm × 40 cm dan panjang 15 cm. *Cell honeycomb* dibuat menggunakan bahan pipa kabel dengan diameter 1,5 cm dan panjang 12 cm. Screen dibuat dari kawat mesh diameter 1 mm. Perbedaan implementasi dengan perancangan berdasarkan pertimbangan ketersediaan bahan dan kemudahan membuatnya tanpa mengurangi kinerja atau fungsi dari *settling chamber* itu sendiri.

3.2 Contraction cone

Contraction cone dibuat dengan ukuran penampang masuk sebesar 80 cm × 80 cm dan penampang keluarannya sebesar 40 cm × 40 cm dengan panjang 45 cm. Bahan yang digunakan adalah *fiberglass*. Perbedaan implementasi dengan perancangan berdasarkan pertimbangan biaya pembuatan dan bahan *fiberglass* lebih ringan.

3.3 Test section

Test section dirancang dengan ukuran 40 × 40 cm dengan panjang 45 cm. Bahan yang digunakan untuk membuat bagian ini adalah akrilik bening dengan ketebalan 5 mm.

3.4 Diffuser

Diffuser dibuat dengan ukuran penampang masukan berbentuk persegi dengan ukuran 40 cm × 40 cm, penampang keluaran dibuat berbentuk lingkaran diameter 50 cm sesuai dengan diameter *fan*, dan panjangnya 43 cm. Bahan yang digunakan *fiberglass*.

Perbedaan implementasi dengan perancangan berdasarkan pertimbangan biaya pembuatan, mempermudah penyambungan dengan *drive section*, dan bahan *fiberglass* lebih ringan tanpa mempengaruhi sudut *diffusion* atau bukaan yang dirancang.

3.5 Drive section

Drive section yang digunakan adalah *tube axial fan* dengan ukuran *fan* 20 inch / 50 cm dengan panjang 27 cm, kecepatan 1400 rpm, *air flow* 3345 CFM, dan motor 1 *phase* dengan daya 350 watt.

Bagian-bagian dari sistem *wind tunnel* di atas akan dipasang mulai dari bagian aliran udara masuk sampai bagian aliran udara keluar dengan panjang total 150 cm dengan implementasi seperti yang ditunjukkan gambar 3.23 (a), (b), dan (c) berikut:

Gambar 3.23 Implementasi *wind tunnel* keseluruhan (a) tampak depan (b) tampak belakang dan (c) tampak samping.

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem telah bekerja dengan baik atau tidak. Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan angin di dalam *test section wind tunnel* dengan titik uji yang telah ditentukan. Pengujian dilakukan pada tanggal 3 Agustus 2017 sampai 10 Agustus 2017 di lantai 2 perpustakaan kampus STMKG.

4.1 Uji titik *test section*

Pengujian titik di *test section wind tunnel* dilakukan dengan mengukur kecepatan angin pada bagian dan titik tertentu menggunakan anemometer GM816. Sebaran titik uji dapat dilihat pada gambar 4.1, posisi titik uji dapat dilihat pada gambar 4.2, dan proses pengujian titik menggunakan anemometer GM816 dapat dilihat pada gambar 4.3.

Gambar 4.1 Sebaran titik uji

Gambar 4.2 Posisi uji titik

Gambar 4.3 Proses pengujian menggunakan anemometer GM816

Pengujian dilakukan dengan meletakkan anemometer GM816 pada bagian uji dan anemometer Casella pada bagian tengah *test section*. Kecepatan angin diatur sampai pembacaan anemometer Casella (standar)

menunjukkan set point tertentu. Hasil pengujian titik bagian 2 dengan set point 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s dapat dilihat pada tabel 4.1. Data hasil pengujian tersebut digambarkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.4 untuk melihat profil kecepatan setiap ketinggian.

Tabel 4.1 Data hasil pengujian titik.

Kecepatan Angin	Tinggi Titik (cm)	Jarak Titik (cm)						
		5	10	15	20	25	30	35
2.04 m/s	35	1.50	1.60	1.60	1.58	1.53	1.60	1.55
	30	1.58	1.68	1.68	1.70	1.75	1.78	1.68
	25	1.65	1.75	1.75	1.78	1.80	1.73	1.65
	20	1.65	1.80	1.88	1.98	1.95	1.75	1.65
	15	1.60	1.70	1.75	1.85	1.78	1.75	1.63
	10	1.60	1.68	1.65	1.70	1.75	1.78	1.70
	5	1.50	1.60	1.60	1.58	1.50	1.60	1.55
3.01 m/s	35	2.50	2.58	2.60	2.58	2.50	2.65	2.55
	30	2.58	2.60	2.65	2.65	2.75	2.70	2.55
	25	2.60	2.85	2.95	3.00	2.85	2.80	2.65
	20	2.65	2.75	2.95	3.00	2.95	2.78	2.58
	15	2.60	2.80	2.98	2.95	2.80	2.78	2.65
	10	2.60	2.60	2.65	2.65	2.75	2.70	2.55
	5	2.50	2.60	2.63	2.55	2.50	2.65	2.55
4.06 m/s	35	3.50	3.55	3.65	3.65	3.53	3.55	3.50
	30	3.60	3.68	3.70	3.75	3.75	3.75	3.70
	25	3.55	3.80	4.00	3.98	3.85	3.75	3.70
	20	3.75	3.88	4.05	4.08	4.10	3.90	3.73
	15	3.65	3.85	4.00	3.95	3.90	3.85	3.75
	10	3.60	3.68	3.73	3.85	3.78	3.78	3.70
	5	3.50	3.55	3.68	3.60	3.50	3.55	3.50
5.04 m/s	35	4.20	4.35	4.55	4.55	4.45	4.43	4.23
	30	4.50	4.60	4.73	4.90	4.85	4.60	4.60
	25	4.40	4.70	4.85	4.93	4.90	4.78	4.65
	20	4.65	4.80	5.00	5.13	5.10	4.90	4.60
	15	4.55	4.70	4.90	4.93	4.90	4.80	4.65
	10	4.50	4.60	4.70	4.78	4.83	4.60	4.60
	5	4.20	4.30	4.55	4.55	4.40	4.45	4.23
6.01 m/s	35	5.00	5.20	5.45	5.38	5.30	5.23	5.05
	30	5.35	5.50	5.65	5.78	5.75	5.50	5.35
	25	5.30	5.65	5.85	5.83	5.75	5.58	5.45
	20	5.50	5.75	5.90	5.95	6.00	5.78	5.48
	15	5.43	5.65	5.88	5.88	5.75	5.63	5.45
	10	5.20	5.50	5.60	5.65	5.73	5.55	5.33
	5	5.00	5.20	5.45	5.38	5.20	5.23	5.05

Gambar 4.4 Grafik profil kecepatan angin

4.2 Analisis profil angin

Analisis dari data hasil pengukuran kecepatan angin setiap titik uji meliputi rata-rata selisih setiap ketinggian, kesalahan setiap ketinggian, rata-rata kesalahan, standar deviasi, kecepatan rata-rata, kecepatan maksimum, dan kecepatan minimum.

Profil kecepatan angin pada tabel 4.2 merupakan analisis dari tabel 4.1 menunjukkan kecepatan angin tertentu menghasilkan kecepatan angin di titik uji yang berfluktuasi dengan kecepatan minimum dan maksimum yang berbeda-beda setiap ketinggian. Rata-rata selisih kecepatan angin tersebut sudah masuk dalam batas toleransi yang ditetapkan yaitu sebesar ± 0.5 m/s meskipun pada ketinggian 5 cm dan 35 cm untuk kecepatan 4.06 m/s, 5.04 m/s dan 6.01 m/s selisihnya berada di luar batas toleransi. Intensitas turbulensi terkecil yaitu 4.56% pada kecepatan 4.06 m/s dan intensitas turbulensi terbesar yaitu 6.55% pada kecepatan 2.04 m/s.

Tabel 4.2 Analisa profil kecepatan angin

Kecepatan Angin (m/s)	Tinggi (cm)	Kecepatan Min (m/s)	Kecepatan Max (m/s)	Kecepatan Rata-rata (m/s)	Selisih (m/s)	Standar Deviasi (m/s)	Intensitas Turbulensi (%)
2.04	35	1.68	1.75	1.83	0.30	0.11	5.78
	30	1.70	1.90		0.16		
	25	1.75	2.00		0.08		
	20	1.78	2.00		0.09		
	15	1.80	2.00		0.11		
	10	1.75	1.90		0.18		
	5	1.68	1.80		0.30		
3.01	35	2.60	2.78	2.78	0.47	0.14	5.18
	30	2.63	2.90		0.31		
	25	2.70	2.98		0.18		
	20	2.70	3.10		0.21		
	15	2.80	3.00		0.25		
	10	2.60	2.90		0.31		
	5	2.60	2.80		0.48		
4.06	35	3.50	3.75	3.85	0.46	0.18	4.67
	30	3.65	4.00		0.23		
	25	3.70	4.10		0.08		
	20	3.83	4.10		0.13		
	15	3.90	4.10		0.14		
	10	3.68	4.00		0.22		
	5	3.50	3.80		0.47		
5.04	35	4.30	4.65	4.77	0.70	0.24	4.94
	30	4.45	4.90		0.41		
	25	4.65	5.00		0.33		
	20	4.65	5.20		0.26		
	15	4.90	5.13		0.18		
	10	4.48	4.93		0.42		
	5	4.30	4.65		0.71		
6.01	35	5.30	5.58	5.73	0.76	0.26	4.62
	30	5.40	5.90		0.47		
	25	5.65	5.95		0.43		
	20	5.83	6.20		0.23		
	15	5.85	6.18		0.15		
	10	5.38	5.93		0.48		
	5	5.30	5.58		0.77		

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil perancangan dan implementasi sistem serta hasil analisis terhadap prototipe *wind tunnel* sebagai berikut:

1. Prototipe *wind tunnel* memiliki panjang total 150 cm, ukuran *test section* 40 cm $\times$ 40 cm $\times$ 45 cm dan diameter *honeycomb* 1.5 cm dengan aliran udara yang dihasilkan maksimum 6.50 m/s.
2. Hasil pengujian kecepatan angin pada titik-titik dalam *test section* untuk memperoleh intensitas turbulensi 4.56 % sampai 6.55 %.

3. Prototipe *wind tunnel* dapat digunakan untuk proses kalibrasi karena penyimpangan kecepatan angin masih dalam toleransi yang telah ditetapkan WMO dan BMKG yaitu sebesar ± 0.5 m/s.

5.2 Saran

Saran untuk hasil perancangan dan implementasi sistem serta hasil analisis terhadap prototipe *wind tunnel* sebagai berikut:

1. Kecepatan angin maksimal yang dihasilkan di dalam *wind tunnel* hanya 6.50 m/s, untuk meningkatkan kecepatan angin lebih baik menggunakan motor listrik dengan kecepatan putar yang lebih tinggi atau menggunakan *blade fan* tipe *centrifugal fan* untuk daya hisap yang lebih tinggi.
2. Pengujian kecepatan angin titik-titik dalam *test section* lebih baik menggunakan tabung pitot untuk menghasilkan data yang lebih akurat.
3. Menambahkan *Graphical User Interface* untuk mempermudah pengaturan kecepatan angin dan kecepatan putar motor.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Shemmeri, T. T., 2012, *Engineering Fluid Mechanics*, Ventus Publishing ApS, Bookboon.
- Cattafesta, L., Bahr, C. J., dan Mathew, J., 2010, *Fundamentals of Wind-Tunnel Design, Experimental Techniques for Fluid Dynamics and Thermal Science*, Departement of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Florida, Gainesville.
- Hernandes, M. A. G., Lopez A. I. M., Jarzabek, A. A., Perales, J. M. P., Wu, Y., dan Xiaoxiao, S., 2013, *Design Methodology for a Quick and Low-Cost Wind Tunnel*, Ahmed, N. A., *Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Applications*, InTech, Croatia.
- <https://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/shortt.html>. Diakses pada tanggal 18 januari 2017.
- Kundu, Pijush K. dan Cohen, Ira M., 2008, *Fluid Mechanic*, 4th ed. Elsevier Inc., British.

- Marpaung, Y. V., 2015, Aplikasi Perhitungan Hasil Kalibrasi dan Nilai Ketidakpastian Pengukuran dalam Sertifikat Kalibrasi Berbasis Visual Basic, *Skripsi*, Program Sarjana Terapan Instrumentasi, STMKG, Tangerang Selatan.
- Republik Indonesia, 1992, Undang-undang Republik Indonesia nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Tahun 2009, Sekretariat Negara, Jakarta.
- Riyadi, A. A., 2010, Pembuatan dan Pengujian Terowongan Angin Kecepatan Rendah Tipe Terbuka (Open Circuit Low Speed Wind Tunnel), *Skripsi*, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Shaleh, R., 2015, Analisis Pemilihan *Fan* dan Perhitungan Daya Motor pada Open Circuit Wind Tunnel, *Skripsi*, Fakultas Teknik Industri, Universitas Gunadarma, Depok.
- Sofwan, A. dan Baqo, S. R., 2004, Sistem Pengendali Kecepatan Putaran Motor AC Phasa Satu Menggunakan Mikrokontroler AT89S8252, *Proceeding Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT2004)*, Auditorium Universitas Gunadarman, Jakarta.
- Surya, P. B. dan Wailanduw, A. G., 2014, Pengaruh Variasi Screen terhadap Intensitas Turbulensi Wind Tunnel Tipe Open Circuit Subsonic di Jurusan Teknik Mesin Unesa, *Jurnal Teknik Mesin*. Volume 03 Nomor 02 Tahun 2014, 29-37.
- Tjasyono H.K., Bayong, 2012, *Meteorologi Indonesia Volume I*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- World Meteorological Organization, 2014, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, 2014 edition, Geneva, Switzerland.