

PENGUKURAN KECEPATAN ANGIN DI DALAM DAN SEKITAR MODEL STASIUN MENGGUNAKAN CONSTANT TEMPERATURE ANEMOMETER

MEASUREMENT OF WIND SPEED INSIDE AND AROUND MODEL STATION USING CONSTANT TEMPERATURE ANEMOMETER

Yudiawan Fajar Kusuma^a dan Sulistiya^a

^aBalai Besar Teknologi Aerodinamika, Aeroelastika dan Aeroakustika - BPPT
Kawasan Puspitek Gedung 240, Setu, Tangerang Selatan-Banten, Indonesia

Abstrak

Pengukuran kecepatan angin di sekitar model stasiun sangat penting dilakukan untuk mengetahui pola aliran turbulen yang dapat mengganggu kenyamanan pejalan kaki disekitar stasiun. Salah satu cara untuk mengetahui kecepatan angin tersebut dengan menggunakan *Constant Temperature Anemometer (CTA)* atau *Hot-wire Anemometer*, yakni satu alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan turbulensi. Makalah ini membahas pengukuran kecepatan angin di sekitar stasiun dengan CTA dari Dantec untuk mengetahui distribusi kecepatan angin dan turbulensinya di luar stasiun dan di dalam stasiun dengan menggunakan jenis probe 55P14 dan 55P62. Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa kecepatan maksimal di semua titik pengukuran jika dihubungkan dengan skala *Beaufort* menunjukkan *Beaufort Number 9* yaitu *Strong Gale*. Deskripsi dari efek angin ini adalah pejalan kaki seperti ditiup oleh hembusan angin sehingga membuat tidak nyaman.

Kata kunci: Stasiun, Constant Temperature Anemometer, Skala Beaufort, Aliran Turbulen.

Abstract

Wind speed measurement around station model is very important to know turbulence flow pattern that can disturb pedestrian comfort around station. One way to know wind speed is using Constant Temperature Anemometer (CTA) or Hot-Wire Anemometer, which is a device used to measure wind speed and turbulence. This paper discusses measurement of wind speed around station with CTA from Dantec to determine distribution of wind speed and turbulence outside and inside station using probe types 55 P14 and 55 P62. From measurement result obtained that maximum speed at all measurement point if connected with Beaufort scale show Beaufort Number 9 is Strong Gale. Description from this wind effect are pedestrians like being blown by wind blows making it uncomfortable.

Keywords: Station, Constant Temperature Anemometer, Beaufort Scale, Turbulent Flow.

I. PENDAHULUAN

Salah satu ciri dari negara berkembang adalah banyaknya pembangunan infrastruktur baik umum maupun tidak umum. Pembangunan infrastruktur umum yang sedang dilakukan oleh pemerintah adalah pembangunan transportasi penghubung antar kota maupun dalam kota seperti stasiun *Mass Rapid Transit (MRT)* [1]. MRT merupakan sistem kereta yang terdiri dari beberapa gerbong yang bergerak yang dapat mengangkut orang dalam jumlah banyak dengan waktu transit di stasiun yang relative singkat. Karena terbatasnya lahan terutama di kota-kota besar khususnya Jakarta, maka bangunan ini akan dibangun di atas jalan raya. Akibatnya pengaruh angin sangat dominan terhadap kenyamanan pengunjung. Angin yang mengenai bangunan ini akan menyebabkan aliran angin menjadi tidak laminar atau aliran turbulen. Aliran turbulen merupakan aliran yang memiliki banyak ulakan-ulakan di dalamnya, baik yang kecil maupun yang besar berfluktuasi secara random atau aliran yang tak teratur. Oleh karena itu analisis aliran tidak dapat dilakukan dengan pendekatan deterministik, melainkan harus dengan pendekatan statistik. Turbulensi dapat pula terjadi karena aliran fluida diganggu secara sengaja melalui generator atau turbulen promoter. Dengan demikian aliran turbulensi yang diperoleh merupakan aliran turbulen yang terkendali, tingkat intensitas maupun spektrumnya di atur dari parameter turbulen generator.

Analisis aerodinamika dan pengukuran kecepatan angin di sekitar model stasiun sangat penting dilakukan sebelum stasiun dibangun untuk mengetahui pola aliran turbulen atau ulakan yang dapat mengganggu kenyamanan pengunjung disekitar stasiun. Dalam tulisan kali ini, model yang diukur adalah stasiun MRT yang dibangun di atas jalan raya dan disekitar pertokoan. Stasiun ini memiliki tinggi $\pm 22,65$ m, panjang ± 175 m dan lebar ± 22 m yang diskalakan 1:200,

Yudiawan F. K. ; Telp. +6221-7560902
E-mail: yudiawan.fajar@bppt.go.id

serta terdiri dari 2 lantai dan 2 buah rel. Model stasiun diuji di dalam terowongan angin dengan kecepatan tertentu. Pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan *Constant Temperature Anemometer (CTA)*[2]. Area yang akan di ukur kecepatan anginnya adalah di sekitar model stasiun dan di dalam model bangunan stasiun dimana merupakan jalur pejalan kaki.

II. METODOLOGI

A. Karakteristik Angin

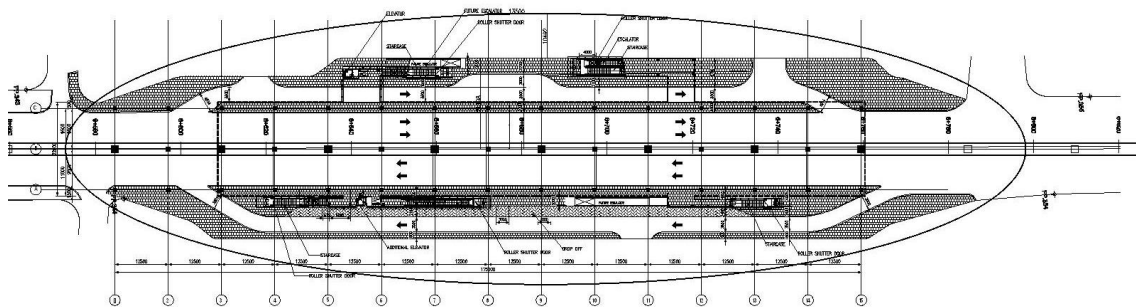
Skala Beaufort adalah ukuran empiris yang berkaitan dengan kecepatan angin untuk pengamatan kondisi di darat atau di laut[3]. Semakin besar angka skala Beaufort, maka semakin kencang angin berhembus dan bahkan bisa semakin merusak. Efek angin pada pejalan kaki akan lebih parah jika aliran angin sangat tidak seragam dalam ruang maupun di luar ruangan.

Tabel 1.
Perbedaan efek dari kecepatan hembusan angin [3].

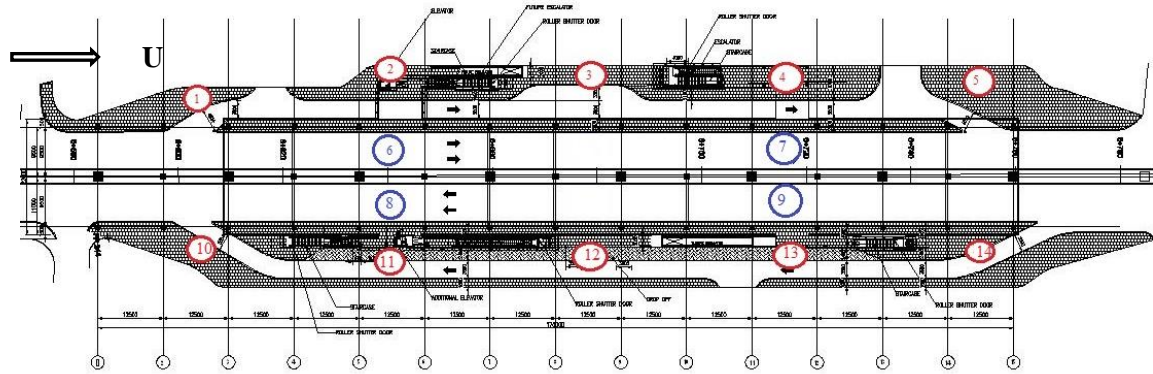
Beaufort Number	Description of Wind	Speed (m/s)	Description of Wind Effects
0	Calm	Less than 0.4	No noticeable wind
1	Light airs	0.4-1.5	No noticeable wind
2	Light Breeze	1.6 - 3.3	Wind felt on face
3	Gentle Breeze	3.4 - 5.4	Wind extends light flag, Hair is disturbed, Clothing flaps
4	Moderate Breeze	5.5 - 7.9	Wind raises dust, dry soil, and loose paper, Hair disarranged
5	Fresh Breeze	8.0 - 10.7	Force of wind felt on body, Drifting snow becomes airborne, Limit of agreeable wind on land
6	Strong Breeze	10.8 - 13.8	Umbrellas used with difficulty, Hair blown straight, Difficulty to walk steadily, Wind noise on ears unpleasant, Windborne snow above head height (blizzard)
7	Moderate Gale	13.9 - 17.1	Inconvenience felt when walking
8	Fresh Gale	17.2 - 20.7	Generally impedes progress, Great difficulty with balance in gusts
9	Strong Gale	20.8-24.4	People blown over by gusts

B. Lokasi Pengukuran

Untuk radius pengukuran belum ada standarnya karena bergantung pada permintaan dan area yang akan diukur tetapi untuk kasus kali ini radius pengukuran turbulen intensitas $\pm 10,2$ m dari sisi luar stasiun (skala sebenarnya). Dari kriteria-keiteria tersebut dapat disimpulkan bahwa lokasi pengukuran akan difokuskan pada area pejalan kaki dan di bawah atap stasiun [4]. Menurut beberapa ahli dibidangnya, untuk menentukan distribusi angin disekitar bangunan perlu diperhatikan beberapa hal yaitu bangunan disekitarnya, bentuk dari bangunan yang akan diuji dan ketinggian dari bangunan itu. Oleh karena itu pengukuran kecepatan angin dilakukan pada skala yang sama yaitu 1.5 - 2.1 m di atas permukaan [5]



Gambar 1. Prediksi area pengukuran model stasiun.



Gambar 2. Titik-titik pengukuran tampak atas.

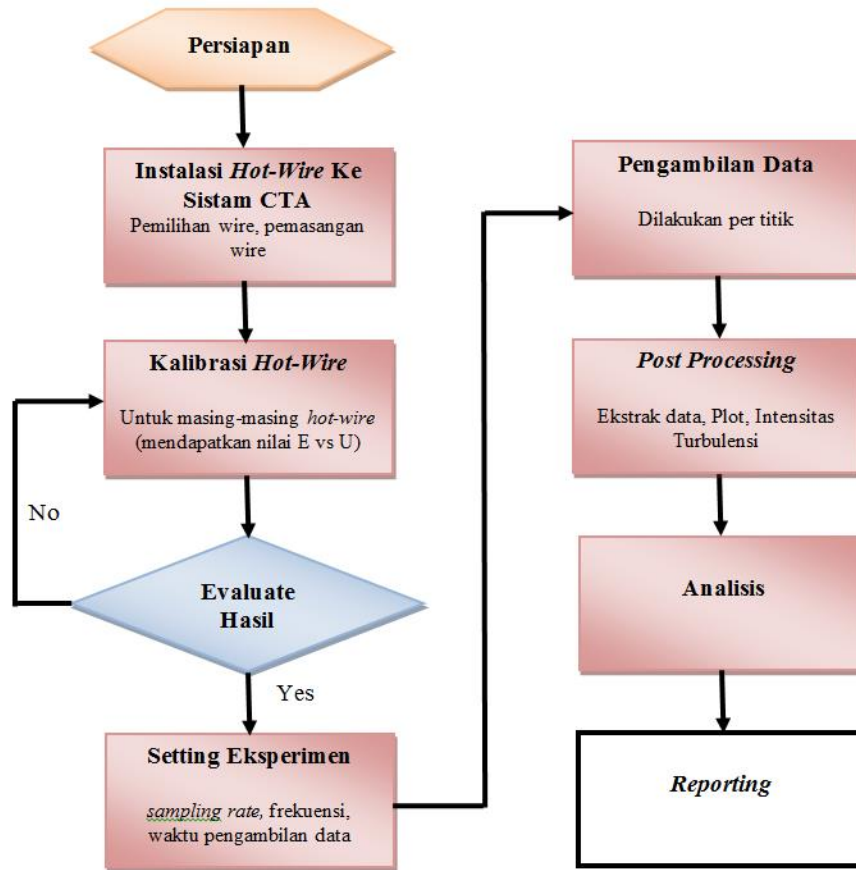
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa titik-titik merah adalah titik-titik yang berada di sekitar stasiun sedangkan titik-titik biru merupakan titik-titik yang berada di bawah atap. Titik 1, 5, 10, dan 14 merupakan titik yang berada di area *pedestrian* yang masih dekat dengan stasiun. Pemilihan titik ini didasarkan ingin mengetahui karakteristik angin dan intensitas turbulen setelah adanya stasiun. Titik 2, 3, 4, 11, 12, dan 13 merupakan titik yang berada di area *pedestrian* di antara jembatan yang menuju stasiun. Pemilihan titik ini didasarkan ingin mengetahui karakteristik angin dan intensitas turbulen akibat adanya jembatan penghubung dengan stasiun. Titik 6, 7, 8, dan 9 merupakan titik yang berada di dalam stasiun tepatnya di bawah atap stasiun (peron). Pemilihan titik ini didasarkan ingin mengetahui karakteristik angin dan intensitas turbulen di dalam stasiun khususnya di sekitar peron stasiun. Koordinat titik-titiknya yaitu,

Tabel 2.
Koordinat titik pengukuran skala model stasiun Block A.

Posisi	Koordinat x,y,z (cm)			Keterangan
	x	Y	Z	
1	-68,750	17,702	1,500	Bagian samping kanan
2	-31,250	20,885	1,500	
3	0	18,673	1,500	
4	31,250	16,632	1,500	
5	93,750	36,795	1,500	
6	-31,250	6,550	16,200	Bagian tengah
7	0	6,550	16,200	
8	31,250	6,550	16,200	
9	-31,250	-6,550	16,200	
10	6,250	-6,550	1,500	Bagian samping kiri
11	31,250	-6,550	1,500	
12	-68,750	-18,080	1,500	
13	-31,250	-18,080	1,500	
14	0	-18,080	1,500	

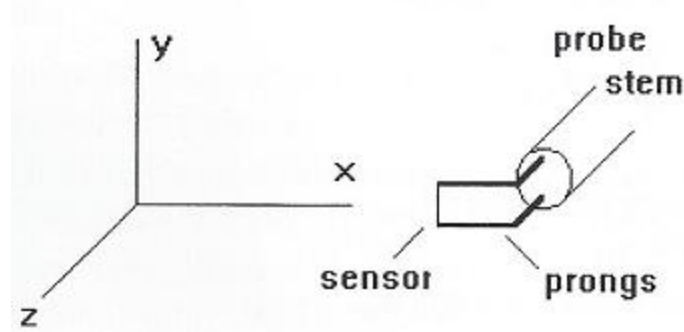
a. Setup Pengukuran

Pengukuran dilakukan di terowongan angin BBTA3-BPPT. Seksi uji terowongan angin memiliki penampang 4 m x 3 m dan 12 m panjang. Terowongan ini adalah sirkuit tertutup. Pengukuran ini akan menggunakan dua jenis *hot-wire anemometer* dan akan menggunakan sistem *traversing* dikarenakan untuk mempercepat pengukuran. Jenis *hot-wire anemometer* yang akan digunakan yaitu *single probe* dan *X-probe / single probe*. Hal ini disebabkan yang akan diukur adalah daerah sekitar stasiun dan di dalam stasiun tepatnya di peron sehingga agar waktu yang dibutuhkan tidak banyak maka menggunakan 2 *hot-wire anemometer*. Pengukuran dilakukan pada beberapa variasi sudut yaitu sudut datang angin 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° dan 315° dengan *sampling rate* 1 kHz dan *number of sample* 1024. Berikut adalah diagram alur pengukuran kecepatan

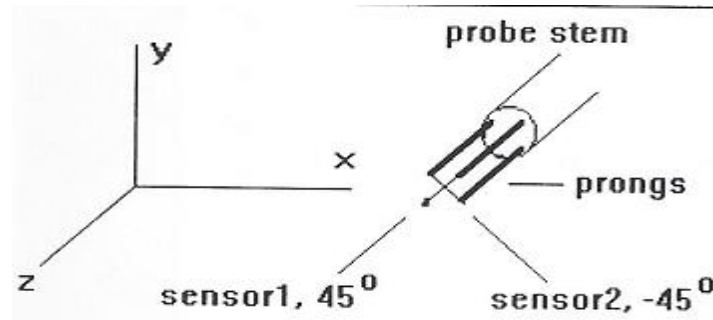


Gambar 3. Diagram alur pengukuran.

Seri *single hot wire* yang digunakan adalah 55P14 yang merupakan tipe 90° -bent, *sensor perpendicular to probe system*. *Probe stem* sejajar dengan sumbu z dari sistem koordinat *probe* dengan bidang *sensor-prong* dalam bidang xy. Sensor ini tegak lurus terhadap sumbu x [2].

Gambar 4. Sistem koordinat tipe 90° -bent, *sensor perpendicular to probe system*

Sedangkan untuk *X-probe* yang digunakan adalah 55P62 yang merupakan tipe *cross-flow*. *Probe stem* sejajar dengan sumbu z dari sistem koordinat *probe*. Sensor berada pada bidang xy. Sensor 1 membentuk $+45^{\circ}$ dan sensor 2 membentuk -45° dengan sumbu x [2].

Gambar 5. Sistem koordinat tipe *cross-flow*.

b. Pengolahan data

Pengolahan data dalam menentukan kecepatan menggunakan *x-probe* berbeda dengan *single probe*. Karena *X-probe* memiliki dua *wire* maka diuraikan menjadi komponen-komponen kecepatan U dan V . Dalam 2D aliran diukur dengan *x-probe*, kecepatan dikalibrasi bersama dengan koefisien penyimpangan k^2 yang digunakan sebagai hasil untuk menghitung kecepatan komponen U dan V dalam sistem koordinat probe [5]. Dalam kasus sederhana, koefisien dapat diabaikan. Berikut beberapa caranya [6]

- Menguraikan tegangan probe X menjadi komponen U dan V
- Menghitung kecepatan kalibrasi U_{cal1} dan U_{cal2} menggunakan fungsi linearitas untuk sensor 1 dan 2.
- Menguraikan koefisien penyimpangan k_1 dan k_2
- Menghitung kecepatan U_1 dan U_2 dalam sistem koordinat *wire* yang didefinisikan oleh sensor dengan menggunakan dua persamaan:

$$k_1^2 \cdot U_1^2 + U_2^2 = \frac{1}{2} \cdot (1 + k_1^2) \cdot U_{cal1}^2 \quad (1)$$

$$k_2^2 \cdot U_2^2 + U_1^2 = \frac{1}{2} \cdot (1 + k_2^2) \cdot U_{cal2}^2 \quad (2)$$

Misal $a = \frac{1}{2} \cdot (1 + k_1^2) \cdot U_{cal1}^2$ dan $b = \frac{1}{2} \cdot (1 + k_2^2) \cdot U_{cal2}^2$ sehingga untuk persamaan di atas menjadi

$$k_1^2 \cdot U_1^2 + U_2^2 = a \quad (3)$$

$$k_2^2 \cdot U_2^2 + U_1^2 = b \quad (4)$$

Kemudian substitusi persamaan (3) ke dalam persamaan (4) sehingga didapat

$$U_1^2 = \frac{a}{k_1^2} - \frac{(a - k_1^2 b)}{k_1^2(1 - k_1^2 k_2^2)} \quad (5)$$

$$U_2^2 = a - k_1^2 U_1^2 \quad (6)$$

Setelah didapatkan nilai U_1^2 dan U_2^2 maka akan menghitung komponen kecepatan U dan V dengan persamaan

$$U = \frac{\sqrt{2}}{2} U_1 + \frac{\sqrt{2}}{2} U_2 \quad (7)$$

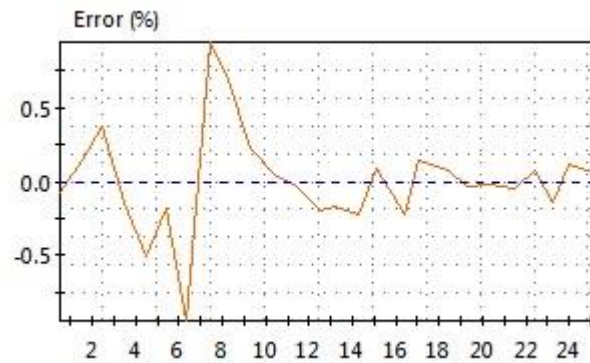
$$V = \frac{\sqrt{2}}{2} U_1 - \frac{\sqrt{2}}{2} U_2 \quad (8)$$

Setelah mendapatkan masing-masing komponen kecepatan, maka akan menghitung kecepatan resultannya

$$V = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (9)$$

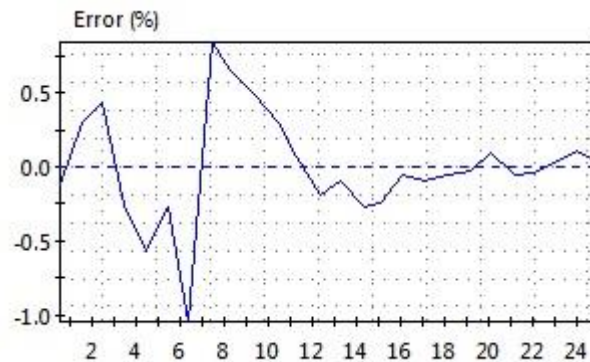
c. Kalibrasi CTA

Dalam kalibrasi kecepatan kali ini, probe yang digunakan adalah tipe 55P14 yang memiliki perbedaan resistensi pada suhu 20°C sebesar $3,4^\circ\Omega$. Berikut ini adalah data hasil perhitungan masing-masing percobaan. Dalam kalibrasi kali ini dilakukan 26 titik dengan kecepatan antara 0 - 25 m/s dan temperatur koreksi rata-rata 22°C . Grafik error kalibrasi probe 55P14 ditunjukkan gambar 6 di bawah ini.

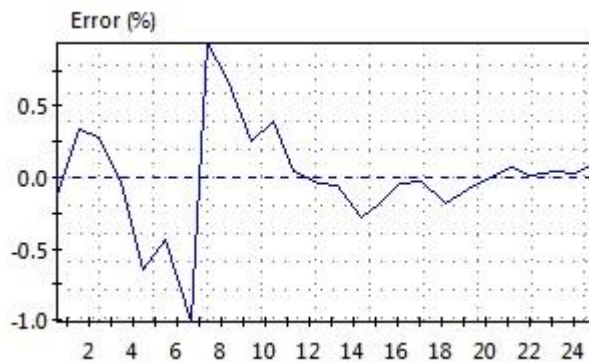


Gambar 6. Grafik error kalibrasi probe 55P14.

Sensor ini adalah tipe *cross-flow* dimana batang probe diletakkan pada sumbu z dari sistem koordinat *probe*. Sensor 1 membentuk sudut $+45^{\circ}$ dan sensor 2 membentuk -45° dari sumbu x. Dalam kalibrasi ini dilakukan 26 titik dengan kecepatan antara 0 - 25 m/s dan temperatur koreksi $\pm 22^{\circ}\text{C}$. Grafik kalibrasi probe 55P14 ditunjukkan gambar 7 dibawah ini.



(a)



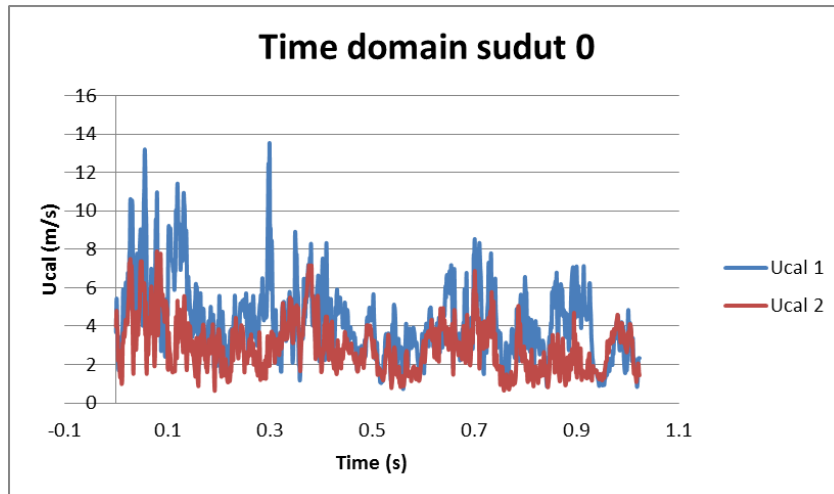
(b)

Gambar 7. (a) Grafik error kalibrasi probe 55P62 wire 1 , (b) Grafik error kalibrasi probe 55P62 wire 1 wire 2

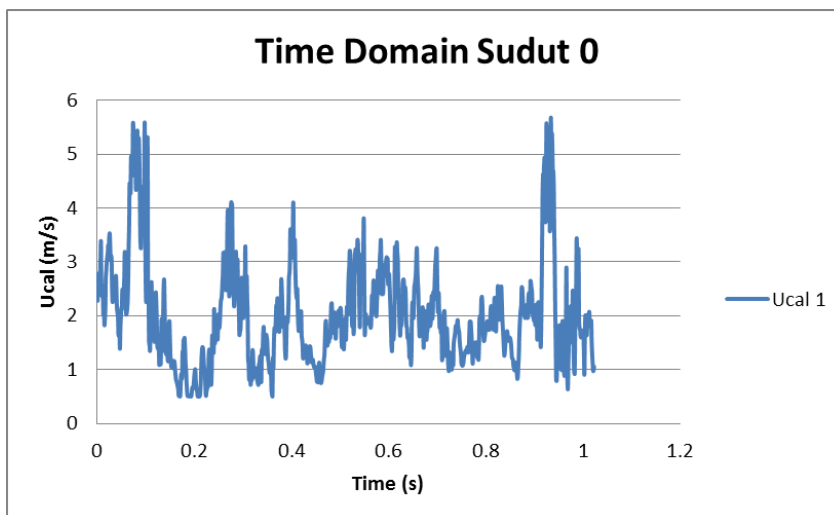
Dari gambar 6 dan 7 diketahui bahwa error tertinggi dari hasil kalibrasi tersebut adalah 0.5% untuk probe 55P14 dan 1% untuk probe 55P62. Hal ini berarti bahwa CTA masih dalam kondisi baik untuk digunakan.

I. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengukuran menggunakan probe 55P14 dan 55P62 dilakukan beberapa variasi sudut yaitu sudut datang angin 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° dan 315° dengan *sampling rate* 1 kHz dan *number of sample* 1024. Hasil pengukuran tersebut akan dikelompokkan berdasarkan titik pengukuran dengan tujuan dapat mengetahui besarnya nilai suatu titik pengukuran ketika model diputar. Grafik hasil pengukuran kecepatan menggunakan probe 55P62 dan 55P14 ditunjukkan pada gambar 8 dan 9 di bawah ini.

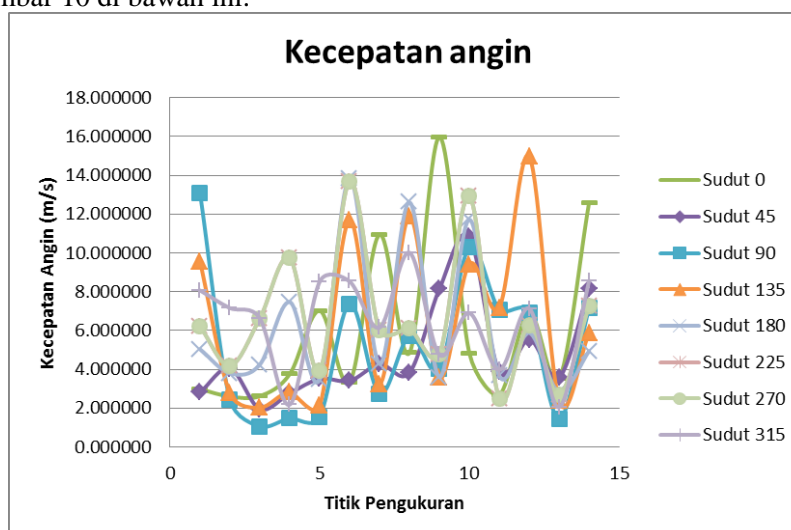


Gambar 8. Grafik kecepatan angin terhadap sudut dengan probe 55P62.



Gambar 9. Grafik kecepatan angin terhadap sudut dengan probe 55P14.

kemudian hasil tersebut diolah menggunakan persamaan (1) dan (2). Hasil tersebut disubstitusi ke persamaan (5) dan (6). Substitusi lagi ke persamaan (7) dan (8). Setelah itu ke persamaan (9) sehingga mendapatkan kecepatan angin. Hasil perhitungan resultan kecepatan angina pada tiap titik pengukuran ditunjukkan pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Grafik kecepatan rata-rata.

Dari gambar di atas menunjukkan kecepatan rata-rata setiap titik pengukuran yang menunjukkan nilai yang berbeda pada saat sudut yang berbeda pula. Hasil di atas kemudian dihubungkan dengan skala *Beaufort* untuk mengetahui karakteristik dari aliran angin tersebut.

Tabel 3.
Kecepatan rata-rata tiap sudut dihubungkan dengan skala Beaufort.

Titik Pengukuran	Beaufort Number								
	Sudut 0	Sudut 45	Sudut 90	Sudut 135	Sudut 180	Sudut 225	Sudut 270	Sudut 315	
1	1	2	6	5	3	5	5	7	
2	3	1	4	7	7	4	4	7	
3	3	2	3	4	4	3	5	5	
4	3	4	3	3	3	5	3	3	
5	7	5	2	5	5	5	4	6	
6	3	2	5	6	5	4	6	3	
7	3	3	2	4	3	2	2	3	
8	3	2	5	5	5	4	4	5	
9	4	4	3	4	4	3	3	3	
10	1	1	2	3	2	1	2	4	
11	2	2	4	4	3	2	6	4	
12	3	2	5	5	3	3	5	4	
13	4	2	3	4	3	4	3	3	
14	4	3	5	5	3	3	3	4	

Dari tabel 3 dapat diketahui bahwa kecepatan rata-rata jika dihubungkan dengan skala Beaufort yang terbesar berada dalam *Beaufort Number 7* yaitu *Moderate Gale*. Deskripsi angin ini yaitu pejalan kaki sudah merasa kesulitan untuk berjalan kaki. *Beaufort Number* ini terjadi pada titik 1 sudut 315° , titik 2 sudut 135° , 180° dan 315° , titik 5 sudut 0° .

III. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian model stasiun MRT dapat diketahui bahwa untuk masing-masing perubahan sudut menghasilkan nilai kecepatan rata-rata, kecepatan maksimum dan kecepatan *gust* yang berbeda. Kecepatan rata-rata jika dihubungkan dengan skala Beaufort yang terbesar berada dalam *Beaufort Number 7* yaitu *Moderate Gale* yang berarti bahwa pejalan kaki sudah merasa kesulitan untuk berjalan. *Beaufort Number 7* ini terjadi pada titik 6 sudut 180° , titik 9 sudut 0° , titik 12 sudut 135° , titik 14 sudut 225° .

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Kepala Balai Besar Teknologi Aerodinamika Aeroelastika dan Aeroakustika (BBTA3) dan Kepala Bidang Layanan Teknologi Aerodinamika Aeroelastika dan Aeroakustika (BLTA3) atas fasilitas dan dukungan dalam melakukan kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Christella, dkk, Stasiun MRT Terintegrasi Blok M Jakarta (Penekanan Desain Arsitektur High-Tech), IMAJI – Vol. 3 No.4, Oktober, 2014
- [2] Jorgensen, Finn E, "How to Measure Turbulence with Hot-Wire Anemometers", *Dantec Dynamics*, Denmark, 2002.
- [3] Janssen, W.D, dkk, "Pedestrian Wind Comfort Around Buildings : Comparison of Wind Comfort Criteria Based on Whole-Flow Field Data for a Complex Case Study", *Accepted for publication in Building and Environment*, October 25, 2012.

- [4] Blocken B., Roels S., Carmeliet J, “Pedestrian Wind Conditions in Passages Through Building-Part 1. Numerical Modelling, Sensitivity Analysis and Model Validation”, *Research Report. Laboratory of Building Physics*, KULeuven, 2003
- [5] Chay M., Wood G, “Wind Tunnel Tests-City East Zone Substation and Integrated Commercial Development-33 Bligh Street”, *Cermak Peterka Petersen Pty. Ltd. Wind Engineering Consultants*, Sydney, Australia, SJ-06087, 2011.
- [6] T Corsin S, “Extended application of hot wire anemometer”, *Rev. Scient.Instrum.* Vol. 18, 469-471, 2007.
- [7] Kovasnay L, “Some improvement in Hot-wire anemometry”, *Hung. ActaPhys.*Vol 1, 25-51, 2008.