

PENGUKURAN KUALITAS ALIRAN UDARA DI ATAS LANDASAN HELIKOPTER BANGUNAN LEPAS PANTAI DENGAN PEMODELAN DI TEROWONGAN ANGIN

Purwadi

BBTA3 - BPPT
Kawasan Puspiptek Gd. 240 Tangerang Selatan 15314
purwadi@bppt.go.id

ABSTRAK

Kondisi dan karakter angin di permukaan landasan helikopter (*helipad*) sangat penting untuk diketahui khususnya oleh penerbang helikopter yang akan mendarat maupun terbang di atas suatu *helipad* demi keselamatan penerbanga tersebut. Data karakteristik angin tersebut antara lain adalah tingkat turbulensi, kecepatan angin dan arah angin. Satu pengujian model bangunan lepas pantai jenis *Floating Production Unit* (FPU) untuk sarana pengolahan minyak dan gas (MIGAS) telah dilakukan di terowongan angin Indonesian *Low Speed Tunnel* (ILST) BBTA3 BPPT. Pengujian dilakukan dengan memodelkan bangunan lepas pantai tersebut dengan skala 1:250. Model diletakkan di dalam seksi uji ILST yang mempunyai luas penampang 4 m lebar dan 3 m tinggi serta panjang 10 m. Pengukuran tingkat turbulensi, kecepatan dan arah angin di atas *helipad* dilakukan di 3 ketinggian yang berbeda.

Kata Kunci: intensitas turbulensi, terowongan angin, ILST, *hot wire*, kualitas aliran

ABSTRACT

Flow quality on the helipad/helideck of the offshore structure must be known by a helicopter pilot whos want to landing or take-off on/from it. The parameters of flow quality are turbulence intensity, wind speed and flow angularity. The data is needed in relation to the safety of take off landing activity of the helicopters. In order to observe the flow quality on the helipad of a FPU (Floating Production Unit) that is a facility of oil production that will be located in Sulawesi Strait Indonesia, an Oil Company requested a wind tunnel test of their new designed FPU. The wind tunnel test of the FPU have been conducted in Indonesian Low Speed Tunnel (ILST). the wind tunnel facility owned by National Laboratory for Technology of Aerodynamics Aeroelastics and Aeroacoustics (BBTA3) BPPT. The test is executed by making a wind tunnel model of the FPU by scaled it down to ratio 1 : 250 that installed in the test section. During the test, turbulence intensity is measured by hot wire anemometer and the wind speed and wind direction are measured with the 5-hole probe. A variaous wind speed and the probes height were applied during the test.

Keywords: wind tunnel, ILST, hot wire, turbulence intensity, flow quality

PENDAHULUAN

Bangunan lepas pantai yang sering digunakan untuk keperluan eksplorasi dan produksi minyak bumi dan gas (migas) lokasinya berada di tengah laut. Bangunan anjungan lepas pantai biasanya bisa berupa bangunan tetap yang tidak dapat bergerak dan juga ada bangunan yang disebut *Floating Production Unit* (FPU). Untuk menunjang operasi eksplorasi atau produksi migas, bangunan ini pada umumnya dilengkapi dengan landasan helikopter (*helideck*) atau sering disebut *helipad* sebagai sarana transportasi dari darat ke anjungan ini ataupun sebaliknya. Bangunan lepas pantai yang berada di tengah laut,

kondisinya sangat terbuka dan mendapat terpaan angin secara langsung tanpa adanya penghalang.

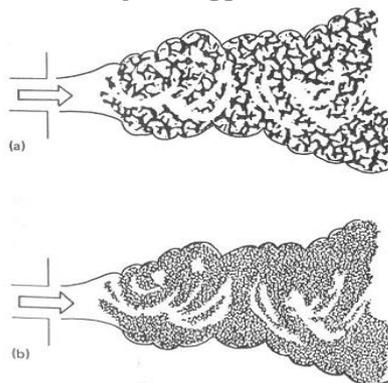
Pada umumnya posisi *helipad* pada bangunan lepas pantai berada di posisi paling tinggi. Namun demikian, ada beberapa struktur bangunan yang tingginya melebihi posisi *helipad*, seperti misalnya *crane*, cerobong gas buang dan bangunan lain tidak dapat dihindarkan. Pada kondisi tertentu, keberadaan struktur-struktur ini dapat merubah kondisi kualitas aliran di atas *helipad*. Kualitas aliran di permukaan *helipad* harus diketahui secara baik oleh para penerbang yang membawa helikopter

mendarat dan terbang dari *helipad* tersebut. Ada standard yang harus dipenuhi terhadap *helipad* baik secara kekuatan struktur maupun kondisi aliran udara di atasnya.

Dalam rangka memenuhi standard tersebut, maka telah dilaksanakan pengujian aerodinamika di terowongan angin ILST dalam keperluan untuk mengetahui kualitas aliran di atas *helipad* model (Authority, n.d.) Pengujian dilakukan dengan membuat model 3-D dari FPU dengan skala 1:250.

METODE PENELITIAN

Turbulence intensity atau intensitas turbulensi merupakan salah satu parameter penting dalam analisis aliran fluida, karena beberapa fenomena fisika sangat dipengaruhi oleh tingkat turbulensi ini. Turbulensi merupakan fenomena dinamika fluida yang sangat tergantung kepada pasokan energi luar, jika pasokan energi ini menurun atau tidak ada maka turbulensi tidak dapat bertahan lama dan aliran akan kembali laminar. Aspek yang mempengaruhi tingkat turbulensi aliran adalah parameter bilangan *Reynolds* (Re), yakni suatu bilangan non-dimensional yang merupakan fungsi dari viskositas fluida. Aliran turbulen selalu terjadi pada bilangan *Reynolds* tinggi. Dengan kata lain aliran turbulen berasal dari aliran laminar yang menjadi tidak stabil ketika bilangan *Reynolds* menjadi tinggi (Hinze, 1959).



Gambar 1. (a) Re rendah, (b) Re tinggi.

Kecepatan sesaat dari aliran dapat diuraikan menjadi nilai kecepatan rata-rata dan fluktuasi, yaitu

$$U = \bar{U} + u \tag{1}$$

dimana U, \bar{U} dan u masing-masing adalah kecepatan seketika, kecepatan rata-rata dan kecepatan fluktuasi dari kecepatan angin di arah *streamwise* (komponen x). Kecepatan rata-rata didefinisikan oleh

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_1^N U_i \tag{2}$$

Karakteristik fluktuasi dari aliran dapat ditunjukkan sebagai nilai RMS (*Root Mean Square*) atau standar deviasi. Besarnya standar deviasi kecepatan didefinisikan sebagai berikut

$$U_{rms} = \sqrt{u^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (U_i - \bar{U})^2} \tag{3}$$

Nilai rata-rata dan RMS untuk komponen y dan z ($\bar{V}, \bar{W}, V_{rms}$ dan W_{rms}) mengikuti prosedur yang sama seperti untuk komponen x. Intensitas turbulensi (TI) didefinisikan sebagai rasio dari nilai RMS dari komponen berfluktuasi dengan kecepatan rata-rata terowongan dalam persen (Jorgensen & Finn, 2002), yaitu:

$$\begin{aligned} TI_u &= \frac{\sqrt{u^2}}{U_0} \times 100\% = \frac{U_{rms}}{U_0} \times 100\% \\ TI_v &= \frac{\sqrt{v^2}}{U_0} \times 100\% = \frac{V_{rms}}{U_0} \times 100\% \\ TI_w &= \frac{\sqrt{w^2}}{U_0} \times 100\% = \frac{W_{rms}}{U_0} \times 100\% \end{aligned} \tag{4}$$

dimana U_0 didefinisikan oleh

$$U_0 = \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2 + \bar{W}^2} \tag{5}$$

Kuantitas turbulensi dikenal sebagai tingkat turbulensi σ didefinisikan sebagai

$$\sigma = \frac{1}{U_0} \sqrt{\frac{1}{3} (u^2 + v^2 + w^2)} \tag{6}$$

Menurut Cebeci (Cebeci, 2004), tingkat turbulensi σ adalah sekitar 1,0 % dalam terowongan angin kondisi kurang baik, 0,2 % dalam terowongan angin dengan kondisi yang baik, dan serendah-rendahnya 0,01-0,02 % dalam terowongan angin yang dirancang baik memiliki turbulensi rendah.

Untuk mengukur intensitas turbulensi dapat dilakukan menggunakan *hot-wire anemometer*. *Hot-wire* harus dikalibrasi sebelum digunakan untuk pengukuran. Kalibrasi menghasilkan hubungan matematis antara tegangan dalam *probe* (E) dengan kecepatan kalibrasi (U_{cal}). Hasil kalibrasi kemudian disimpan sebagai nilai koreksi yang akan digunakan dalam pengukuran aktual. Anemometer TA460 telah dikalibrasi oleh pabrik pembuatnya dan dilengkapi dengan sertifikat kalibrasi oleh pembuatnya.



Gambar 2 Anemometer TA460 TSI

Dari kecepatan angin yang diperoleh saat kalibrasi akan dihasilkan dua hubungan [Dantec Dynamics 2003], yaitu:

$$U_{cal1} = f(E_1) \quad (7)$$

$$U_{cal2} = f(E_2) \quad (8)$$

Dimana U adalah kecepatan angin dan E adalah tegangan listrik *probe*. Kecepatan angin sesaat dalam sistem koordinat *probe* adalah:

$$V = U1 \cdot \sin \alpha_1 - U2 \cdot \sin \alpha_2 \quad (9)$$

$$U = U1 \cdot \cos \alpha_1 + U2 \cdot \cos \alpha_2 \quad (10)$$

Intensitas turbulensi dan tingkat turbulensi diperoleh dari persamaan 4 dan 6.

Pengukuran kecepatan dan angularitas aliran dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis alat ukur, seperti tipe *cross wire* dari *hot wire* anemometer atau dengan menggunakan satu jenis *probe* yang disebut

Five-Hole Probe(FHP). Dengan menggunakan peralatan tersebut di atas, kecepatan dan angularitas aliran angin baik arah longitudinal (α_1) maupun arah lateral (β_1) di atas *helipad* dapat di ketahui. Memperhatikan kemampuan anemometer TA 460 yang tidak dilengkapi dengan *hot wire* jenis *cross wire* maka untuk pengukuran kecepatan dan angularitas aliran angin di atas helideck model FPU menggunakan FHP. Pada gambar 3 dapat dilihat FHP yang digunakan untuk pengukuran.

Angle of Incidence(α)

Pengukuran angularitas aliran arah longitudinal (pitch) dihitung dari hasil pengukuran deferensiasi tekanan yang diperoleh dari lubang 1 dan 3. Nilai tersebut dapat dihitung dai persamaan 11 berikut (Daniels, 2017):

$$Cp\alpha = \frac{P_1 - P_3}{P_5 - P_{aveg}} \quad (11)$$

Angle of Yaw(β)

Pengukuran sudut aliran arah lateral β_1 diukur oleh FHP lubang 2 dan lubang 4 dimana besar tekanan untuk kecepatan dan angularitas aliran di tentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Cp\alpha = \frac{P_2 - P_4}{P_5 - P_{aveg}} \quad (12)$$

Five Hole Probe

Pada *five hole probe* terdapat 6 lubang yang diberi nomor seperti pada Gambar 3. Lubang 1 ada di atas, lubang 3 di bawah, lubang 2 di sisi kiri dan lubang 4 di sisi kanan. Lubang 1 dan lubang 3 berada pada bidang vertical sedangkan lubang 2 dan lubang 4 berada pada bidang horizontal. Lubang 5 berada tepat di tengah ujung *probe*, sedangkan lubang 6 terletak di belakang dan arah lubangnya tegak lurus terhadap aliran pada kondisi *probe* berada pada sudut 0° digunakan untuk mengukur tekanan static.



Gambar 3 Five-Hole Probe (FHP)

PENGUKURAN

Pengukuran Turbulensi

Intensitas turbulensi dinyatakan dalam bentuk prosentase (%) dan intensitas turbulensi didefinisikan sebagai suatu rasio dari suatu nilai akar dari fluktuasi kecepatan angin (u) berbanding dengan kecepatan angin rata-rata (V). Dalam bentuk persamaan, intensitas turbulensi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$I(h) = \frac{\sqrt{u(z)^2}}{V(h)} \quad (13)$$

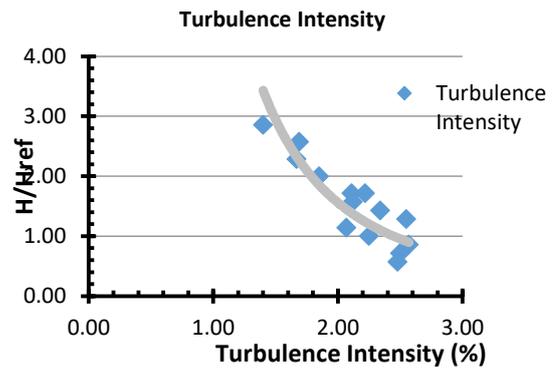
dimana h adalah posisi ketinggian pengukuran dari permukaan landasan.

Dalam kondisi ideal, aliran udara tidak mengalami fluktuasi kecepatan maupun penyimpangan arah aliran (lurus), sehingga intensitas turbulensinya dapat dianggap 0%. Namun demikian kondisi ideal ini tidak pernah tercapai di manapun dipermukaan bumi ini. Nilai intensitas turbulensi di dalam kondisi tertentu dapat mencapai lebih besar dari 100% yaitu pada kondisi dimana kecepatan angin rata-rata kecil dan kecepatan angin fluktuasi pada kondisi lebih besar. Suatu intensitas turbulensi dengan nilai 1% atau lebih kecil dikategorikan sebagai kondisi dengan intensitas turbulensi rendah dan kondisi intensitas turbulensi lebih besar dari 10% digolongkan intensitas turbulensi yang tinggi.

Gambar 4 memperlihatkan satu grafik kondisi intensitas turbulensi di dalam seksi uji terowongan angin sebelum adanya model terpasang (Rae, Pope, & Jewel, 1999). Dari gambar 4 tersebut, dapat dilihat bahwa prosentase intensitas turbulensi lebih besar

terjadi di area yang lebih dekat dengan dinding atau lantai seksi uji dan menjadi lebih kecil ketika posisi pengukuran lebih jauh dari dinding atau lantai seksi.

Pengukuran intensitas turbulensi dilakukan dengan menggunakan alat ukur TA460 dari TSI. Gambar 2 memperlihatkan alat ukur intensitas turbulensi TA460.



Gambar 4 Grafik prosentase intensitas turbulensi pada seksi uji kosong.



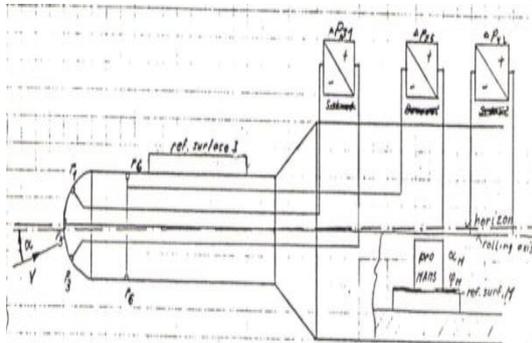
Gambar 5 Posisi anemometer TA460 di model uji FPU.

Pengukuran Kecepatan dan Arah Angin

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, untuk melakukan pengukuran kecepatan dan angularitas aliran di atas helideck model FPU digunakan alat ukur Five-Hole Probe (FHP). Pada pengukuran ini kecepatan dan angularitas aliran yang diukur hanya pada arah lateral/*yaw* (β) saja dikarenakan model uji hanya dapat digerakkan pada bidang tersebut.

Tekanan pada lubang 1 dan lubang 3 di FHP dihubungkan dengan sensor tekanan diferensial dengan kapasitas 3,5 kPa.

Demikian juga tekanan pada lubang 2 dan lubang 4 dihubungkan dengan sensor tekanan dengan kapasitas 3.5 kPa. Diferensial tekanan total 5 dan tekanan statik dari lubang 6 juga diukur dengan sensor tekanan 3.5 kPa (Gambar 6).



Gambar 6. Perangkatian transducer tekanan dan inclinometer.

Pada saat pengukuran angularitas dan kecepatan aliran, FHP diletakkan di atas helideck setinggi 30 cm. *Probe* ini dipasang pada suatu alat pemegang yang menjaga arah *probe* selalu sejajar dengan arah angin di terowongan angin. Arah FHP tidak berubah walaupun model dibuat berputar 360 derajat. Pada posisi sudut 0°, sumbu longitudinal model harus paralel dengan center sumbu tunnel.

Pengukuran arah angin dilakukan untuk beberapa *heading* model mulai dari 0° sampai dengan 360° dengan cara memutar *turn table* seksi uji dimana model diletakkan. Gambar 5 memperlihatkan *probe* pengukur intensitas turbulensi di atas model FPU dan gambar 7 memperlihatkan *probe* pengukur angularitas dan kecepatan aliran angin pada model FPU.

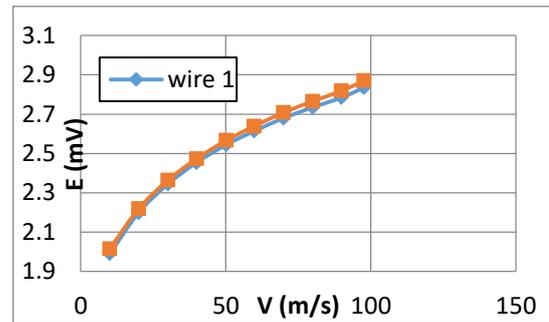


Gambar 7 Posisi FHP di atas helideck model FPU.

HASIL PENGUKURAN

Pengukuran Intensitas Turbulensi

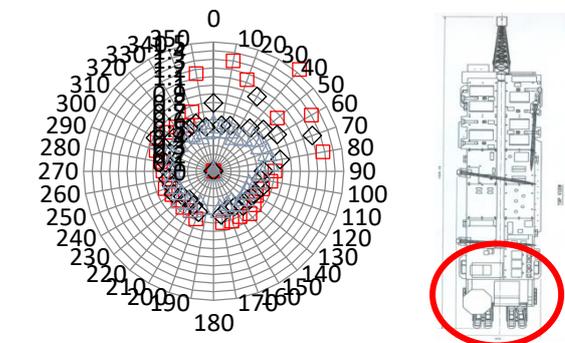
Grafik 6 menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin maka tegangan yang dialirkan melalui *hot-wire* semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena prinsip kerja dari *hot-wire* adalah mempertahankan suhunya. Untuk mempertahankan suhunya yaitu dengan meningkatkan tegangan. Gambar 7 menunjukkan tingkat kesalahan kalibrasi.



Gambar 8. Grafik kalibrasi kecepatan hot wire probe.

Dari grafik menunjukkan bahwa *probe* masih menunjukkan kinerja yang baik. Tingkat kesalahan kecepatan *probe* 55P61 dibawah 1.5%.

Turbulence Intensity vs Heading

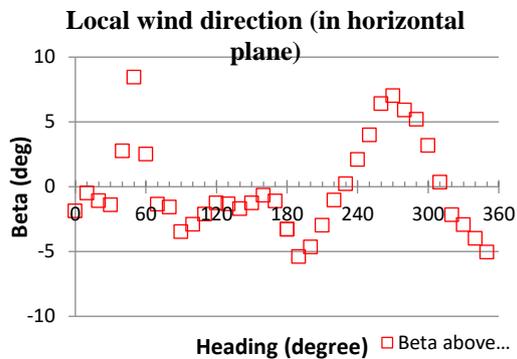


Gambar 9. Data pengukuran intensitas turbulensi.

Pengukuran Kecepatan dan Angularitas Aliran

Pengukuran intensitas turbulensi dilakukan menggunakan *probe* 55P61 pada kecepatan 50 m/s, 55 m/s, 60 m/s, 65 m/s, 70 m/s dan 75 m/s di setiap titik sepanjang garis melintang diatas *turn table* pada bagian tengah *turn table* yaitu: (0,0,0) cm, (0,+30,0) cm, (0,+60,0) cm, (0, -30,0) cm, (0,-60,0) cm. Tiap titik data diambil dengan sampling

rate 1 kHz dan jumlah sampel 3000. Dari data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan kecepatan rata-rata dan kecepatan rms. Intensitas turbulensi diperoleh dari persamaan 4 dan 5.



Gambar 10 Data pengukuran arah angin

KESIMPULAN

Intensitas turbulensi di atas model FPU diukur dengan menggunakan *anemometer TSI TA460* dan demikian juga kecepatan dan arah angin (angularitas) aliran diukur dengan menggunakan *5-Hole Probe (FHP)*. Dari hasil pengukuran dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Intensitas turbulensi dari hasil pengukuran dapat diketahui rata-rata sebesar 0,5% pada ketinggian 66mm, 0,4 pada ketinggian 100mm dan 0,4% pada ketinggian 133mm. Pada heading sudut 70°, nilai intensitas turbulensi pada masing-masing ketinggian terlihat harga yang lebih tinggi diakibatkan adanya struktur penghalang aliran (*crane*) yang mempengaruhi kondisi aliran di atas helideck.
2. Dari data pengukuran aliran udara di atas helideck model FPU, dapat diketahui bahwa rata sudut aliran masih sejajar dengan arah datangnya aliran kecuali pada heading tertentu yaitu di sudut heading 270°. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada posisi ini, aliran udara di atas *helideck* dipengaruhi adanya struktur lain seperti *crane* dan cerobong pembuangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Authority, U. C. A. (n.d.). *CAP 437 - Standards for Offshore Helicopter Landing Areas*. 2013.
- Cebeci, T. (2004). *Analysis of Turbulent Flows*.

- Daniels, R. K. (2017). *Design, Fabrication and Calibration of a Five Hole Probe for Measurement of Three Dimensional Flows*.
- Hinze, O. J. (1959). *TURBULENCE – An Introduction to Its Mechanism and Theory*.
- Jorgensen, & Finn, E. (2002). *How to Measure Turbulence with Hot-Wire Anemometers*.
- Rae, W. H., Pope, A., & Jewel, B. (1999). *Low-speed wind tunnel testing. Third Edition*.