

KAJIAN EMPIRIS PERPINDAHAN MASSA OKSIGEN OLEH COMPRESSED AIR AERATOR DENGAN ANALISIS DIMENSI

*Empirical Study on Oxygen Mass Transfer by Compressed Air
Aerator with Dimensional Analysis*

M. Alfian Mizar¹, Tri Purwadi² dan Handoyo²

*Program Studi Mekanisasi Pertanian
Program Pascasarjana Universitas Gadjah Mada*

ABSTRACT

To increase oxygen content in water, a Compressed Air Aerator was used, by process of diffusion with forced convection oxygen was absorbed with a certain rate corresponding to the capability and the magnitude of the existing power.

The objective of this research is to know dominant variables that affect the aerator capability in penetrating the oxygen into the water due to aerator system used, and the relationship between those variables.

In this research, an empirical approach were used for the solution of the problem and carried out by dimensional analysis with numerical analysis program.

The results of this research indicated that the performance of Compressed Air Aerator namely the rate of mass transfer coefficient of the oxygen into the water (K) is affected by the air compressed from compressor output (P), the nozzle hole diameter (d_o), density of nozzle number per area unit (r), and depth of the water (H) at conditions of oxygen diffusion coefficient into the water (D), mass density of water (ρ), surface tension of water (s), viscosity of water (μ_L), viscosity of air (μ_G) and acceleration of gravity (g) at held constant. The maximum value of K resulted at P = 50 Psi, $d_o = 1$ mm, $r = 16^2/m$, dan H = 0.75 m. Between the K-observed and K-predicted, by chi-squared test there is not significantly difference at probability 0.032. The equation form of prediction was resulted, after being tested with regression analysis, coefficient of ditermination (R^2) = 0.8943.

Keyword: *oxygen mass transfer — aerator — dimensional analysis*

PENGANTAR

Dalam usaha budidaya udang, persyaratan kandungan oksigen terlarut dalam air yang diperlukan harus dalam batas optimum, yaitu sebanyak 4,5 miligram sampai dengan 7 miligram setiap liter air. Untuk mendukung hal ini, diperlukan kualitas air dengan tersedianya oksigen yang proporsional di dalam air.

1) Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, IKIP Malang.

2) Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Untuk keperluan penambahan oksigen agar tidak sampai kekurangan, digunakan peralatan berupa aerator. Dengan demikian keberadaan aerator mutlak diperlukan dalam usaha budidaya udang.

Akan tetapi menurut Saito (1983) upaya pengembangan pertanian sektor perikanan di Indonesia masih mengalami beberapa hambatan antara lain import peralatan yang dipandang masih cukup mahal.

Untuk itu perlu penelitian yang dapat membantu mengatasi beberapa hambatan yang dihadapi dalam bidang pengembangan pertanian sektor perikanan di Indonesia, khususnya dalam hal pengembangan peralatan aerator yang dimungkinkan dapat dibuat sendiri sesuai dengan kondisi di Indonesia. Dengan demikian perlu adanya dukungan penelitian melalui model fisik aerator dan kinerjanya yang dapat memberikan hasil secara optimal.

Aerator merupakan alat yang digunakan untuk menambah oksigen ke dalam air dengan cara mempercepat proses difusi. Boyd (1979) menjelaskan bahwa aerator dapat digunakan untuk mempertahankan konsentrasi oksigen terlarut sekitar konsentrasi jenuh, yang dapat menunjang pertumbuhan udang secara maksimal.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Ahmad (1987), menunjukkan adanya perbedaan konsentrasi oksigen di dasar dan di permukaan tambak, dimana laju penurunan maupun kenaikan oksigen terlarut terjadi lebih cepat dipermukaan.

Untuk keperluan aerasi udang, dalam penelitian ini dipilih aerator dengan jenis aerator udara yang dikompresi, hal ini didasarkan atas pertimbangan bahwa jenis ini dapat menjangkau aerasi pada wilayah dasar.

Peralatan aerator jenis ini digunakan, mengingat bahwa konsentrasi oksigen terlarut dibagian dasar air akan lebih rendah dari pada di permukaan.

Menurut Hammer (1986), cara penambahan oksigen terlarut dalam air dapat terjadi akibat adanya : (1) proses aliran permukaan, (2) proses fotosintesis dan (3) perlakuan mekanis dengan alat difusi untuk menghasilkan gelembung udara. Adanya gelembung gas (udara) terjadi akibat aliran turbulen yang dihasilkan alat mekanis, kemudian diabsorpsi oleh cairan dengan jumlah dan kecepatan tertentu (Treybal, 1985).

Lebih lanjut Hammer (1986), memberikan penjelasan tentang penambahan oksigen ke dalam air, bahwa laju perpindahan oksigen dari gelembung udara kelarutan tergantung pada peralatan yang digunakan dan sifat cairan. Adapun hubungan antara laju perpindahan massa oksigen dengan koefisien laju perpindahan massa dan perubahan konsentrasi oksigen dalam air, dinyatakan dengan

$$\text{persamaan: } R = K (\beta \cdot C_s - C_t)$$

R = Laju perpindahan oksigen dari udara ke air (mg/liter . jam)

K = Koefisien perpindahan massa yang tergantung pada peralatan dan

sifat air (perjam)

b = Koefisien kejenuhan oksigen pada air.

C_s = Konsentrasi kelarutan oksigen pada saat jenuh dalam air murni (mg/liter).

C_t = Konsentrasi oksigen dalam air (mg/liter).

Lebih jauh Hammer (1986), menjelaskan bahwa koefisien laju perpindahan massa (K) disamping tergantung pada sifat air limbah juga dipengaruhi oleh macam alat diffusi, dalam hal ini adalah aerator serta kedalaman cairan/air.

Sehubungan dengan nilai koefisien laju perpindahan massa oksigen ke air (K) tergantung pada peralatan yang digunakan, maka perlu adanya penelitian yang mengkaji tentang variabel yang mempengaruhi nilai K serta bentuk hubungan antara K dengan variabel tersebut.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji koefisien laju perpindahan massa oksigen ke air (K) oleh peralatan aerator dengan jenis *Compressed Air Aerator* yang memungkinkan dapat menjangkau aerasi di wilayah bagian dasar air. Untuk keperluan itu metode penelitian dilakukan dengan analisis dimensi berdasarkan pengamatan dari percobaan model fisik, yang sebelumnya didahului dengan kajian variabel-variabel yang terkait dengan fenomena perpindahan massa oksigen ke dalam air oleh aerator. Dalam penelitian ini untuk menentukan laju perpindahan massa oksigen dari udara ke oksigen terlarut dalam air, digunakan persamaan: $R = K (\beta \cdot C_s - C_t)$

Di mana K merupakan koefisien laju perpindahan massa oksigen ke air, yang oleh Kreith (1991) dijelaskan bahwa harga koefisien perpindahan massa sebaiknya ditentukan secara eksperimen. Diharapkan bahwa persamaan perpindahan massa tersebut akan berubah dengan sifat-sifat fisik fluida serta karakteristik peralatannya.

Kreith (1991) lebih lanjut menegaskan bahwa persamaan yang menghubungkan koefisien perpindahan massa dengan sifat-sifat sistem dapat diturunkan melalui analisis dimensional. Koefisien tersebut akan menjadi fungsi kecepatan, kerapatan, viskositas, difusivitas dan karakteristik dari peralatan pada sistem tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh variabel-variabel yang berpengaruh terhadap kemampuan aerator jenis *Compressed air aerator* dalam melarutkan oksigen ke dalam air serta hubungan antar variabel tersebut.

CARA PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kajian empiris, untuk itu metode penelitiannya akan ditempuh sebagai berikut:

1. Mengungkapkan variabel-variabel yang terkait.
2. Melakukan analisis dimensional, sehingga menghasilkan sekumpulan persamaan-persamaan takberdimensi (π).
3. Melakukan pengamatan nilai konsentrasi sesaat (C_t) sebagai fungsi waktu (t) melalui suatu percobaan, sedangkan untuk memperoleh

nilai K dilakukan dengan cara mentransformasikan nilai C_i dan t kedalam persamaan berikut ini:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n \left[-\ln \frac{(\beta C_s - C_{ti})}{(\beta C_s - C_o)} \right] \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2}$$

4. Menganalisis keterkaitan hubungan antar persamaan π .
5. Menguji validitas bentuk persamaan umum π terhadap persamaan bagiannya.
6. Dengan program numerik, dapat dihasilkan persamaan prediksi (K-prediksi) dalam hubungannya dengan variabel-variabel yang terkait.
7. Menguji keabsahan (ketepatan) persamaan prediksi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian, berdasarkan analisis empiris diperoleh variabel-variabel yang berpengaruh terhadap koefisien laju perpindahan massa oksigen ke air (K) oleh aerator dan bentuk hubungan dari variabel sebagai berikut:

$$K = 1,7943 \cdot 10^{-2} \left[\frac{P}{\mu L} \right]^{0,7939} \left[\text{do} \cdot \alpha \right]^{-0,2653} \left[\frac{r \cdot \mu G}{g} \right]^{0,2428} \frac{D^{0,9795}}{H^{0,6550}} \cdot \rho^{0,0225}$$

Jika data r tidak tersedia, maka nilai K-prediksi dapat didekati dengan persamaan:

$$K = 2,0957 \cdot 10^{-2} \left[\frac{P}{\mu L} \right]^{0,7939} \left[\text{do} \cdot \alpha \right]^{-0,2653} \frac{D^{0,9795}}{H^{0,6550}}$$

dimana:

- K = Koefisien laju perpindahan massa oksigen ke air oleh aerator x 3600 (per jam)
- P = Tekanan udara keluar kompresor (N/m^2)
- do = Diameter lubang nosel (meter)
- r = Kerapatan jumlah nosel tiap satuan luas (m^2)
- H = Kedalaman air (meter)
- D = Koefisien difusi oksigen ke air ($m^2/detik$)
- ρ = Rapat massa air (Kg/m^3)
- s = Tegangan permukaan air (N/m)
- μL = Viskositas air ($N/m^2 \cdot detik$)
- μG = viskositas udara ($N/m^2 \cdot detik$)
- g = Percepatan gravitasi ($m/detik^2$)

Lebih lanjut melalui persamaan K-prediksi yang telah dihasilkan, dapat diperoleh nilai-nilai K-prediksi untuk berbagai kombinasi perlakuan yang secara bersama-sama dengan nilai K pengamatan dapat dituangkan kedalam Tabel berikut ini.

Tabel. Nilai K Pengamatan dan K Prediksi (per jam)

H \implies		H1		H2		H3	
r,do,P ↓		Pengamatan	Prediksi	Pengamatan	Prediksi	Pengamatan	Prediksi
r1,do1,	P1	0.6752	0.5720	0.6904	0.6620	0.8578	0.7993
	P2	0.7586	0.7892	0.8699	0.9134	0.9638	1.1029
	P3	0.9256	0.9917	0.9567	1.1479	1.0791	1.3858
	P4	1.1008	1.1840	1.1731	1.3703	1.2599	1.6545
r1,do2.	P1	0.5578	0.4759	0.6362	0.5508	0.7669	0.6650
	P2	0.7266	0.6566	0.7762	0.7600	0.8387	0.9175
	P3	0.8338	0.8251	0.8572	0.9550	0.8915	1.1530
	P4	0.9672	0.9846	0.9231	1.1401	1.1684	1.3765
r1,do3,	P1	0.5408	0.4274	0.5965	0.4946	0.6503	0.5972
	P2	0.6276	0.5897	0.6860	0.6825	0.6994	0.8240
	P3	0.8001	0.7410	0.8088	0.8576	0.8882	1.0354
	P4	0.8895	0.8846	0.9047	1.0239	1.0694	1.2361
r1,do4,	P1	0.4901	0.3960	0.5877	0.4583	0.6146	0.5533
	P2	0.6235	0.5463	0.6391	0.6323	0.7041	0.7634
	P3	0.7757	0.6865	0.6632	0.7946	0.8640	0.9593
	P4	0.8222	0.8196	0.7150	0.9486	1.0518	1.1453
r2,do1,	P1	0.7241	0.6965	0.7935	0.8061	0.8579	0.9732
	P2	1.0974	0.9610	1.1798	1.1123	1.1318	1.3428
	P3	1.2478	1.2076	1.2509	1.3977	1.5743	1.6874
	P4	1.6801	1.4417	1.7409	1.6685	1.8072	2.0145
r2,do2,	P1	0.7053	0.5795	0.7789	0.6707	0.7854	0.8097
	P2	0.8917	0.7995	0.9073	0.9254	1.0991	1.1173
	P3	1.0437	1.0047	1.0642	1.1629	1.3696	1.4039
	P4	1.2033	1.1995	1.3480	1.3882	1.7792	1.6761
r2,do3,	P1	0.6252	0.5204	0.7255	0.6023	0.7309	0.7271
	P2	0.8532	0.7180	0.9030	0.8310	1.0674	1.0033
	P3	0.9074	0.9022	1.0581	1.0443	1.2473	1.2608
	P4	1.1643	1.0772	1.3765	1.2467	1.6716	1.5051

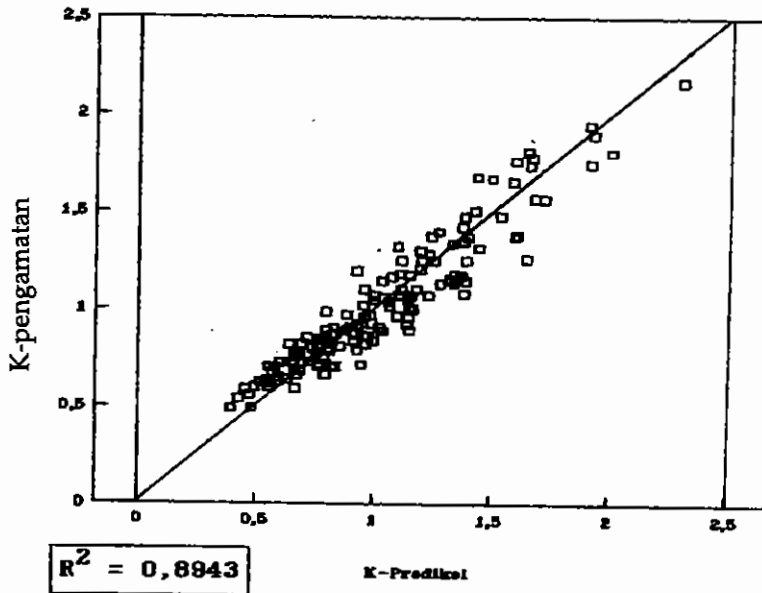
Tabel Lanjutan.

H \implies		H1		H2		H3	
r,do,P ↓		Pengamatan	Prediksi	Pengamatan	Prediksi	Pengamatan	Prediksi
r3,do4,	P1	0.4903	0.4822	0.5984	0.5580	0.6585	0.6737
	P2	0.5929	0.6652	0.7181	0.7699	0.7880	0.9295
	P3	0.7075	0.8359	0.8208	0.9675	1.0005	1.1681
	P4	0.8385	0.9980	1.0068	1.1550	1.1467	1.3945
r3,do1,	P1	0.9836	0.8009	1.1923	0.9269	1.2502	1.1192
	P2	1.3237	1.1051	1.3996	1.2790	1.4791	1.5442
	P3	1.4739	1.3886	1.7644	1.6072	1.8965	1.9404
	P4	1.8083	1.6579	1.9475	1.9187	2.1693	2.3165
r3,do2,	P1	0.7571	0.6664	0.8444	0.7712	0.9222	0.9311
	P2	0.8698	0.9194	1.0384	1.0642	1.1298	1.2848
	P3	1.1733	1.1554	1.3370	1.3372	1.3800	1.6145
	P4	1.4214	1.3794	1.6565	1.5964	1.7453	1.9274
r3,do3,	P1	0.7257	0.5984	0.8216	0.6926	0.8653	0.8362
	P2	0.8679	0.8256	1.0168	0.9556	1.0711	1.1538
	P3	1.1442	1.0375	1.3007	1.2008	1.3149	1.4498
	P4	1.2840	1.2387	1.5067	1.4336	1.5693	1.7308
r3,do4	P1	0.7046	0.5544	0.8178	0.6417	0.8401	0.7747
	P2	0.8166	0.7650	0.9698	0.8854	1.0150	1.0690
	P3	0.9597	0.9612	1.0713	1.1126	1.1805	1.3433
	P4	1.0668	1.1477	1.1498	1.3282	1.3717	1.6036

Hasil uji keabsahan data menunjukkan bahwa tidak berbeda nyata antara K prediksi terhadap nilai K hasil pengamatan, dengan koefisien determinasi (R^2) = 0,8943, demikian halnya dengan hasil uji ketepatan data K prediksi terhadap K pengamatan melalui *Scatter-plot*, serta hasil uji dengan *Chi-Square* yang menunjukkan bahwa data K hasil pengamatan dengan K prediksi tidak berbeda nyata dengan angka probabilitas (P) = 0,032.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara nilai K dengan variabel-variabel yang berpengaruh secara empiris, tampak bahwa nilai K hasil pengamatan mempunyai hubungan yang linier dengan variabel tekanan udara yang keluar kompresor (P), demikian juga K-prediksi menunjukkan hal yang sama. Gejala ini disebabkan karena semakin tinggi nilai P, mengakibatkan butiran-butiran gelembung udara yang dihasilkan bertambah banyak serta dengan tekanan yang tinggi dapat mempercepat produksi gelembung udara, sehingga berpengaruh terhadap penambahan nilai kandungan oksigen

yang terlarut dalam air (C_t), yang pada akhirnya akan mempertinggi nilai K .



Gambar: Scatter-plot
Ketepatan K-Prediksi Terhadap K-Pengamatan

Ditinjau dari variabel diameter nosel (d_o), mempunyai hubungan yang linier dengan hasil bahwa semakin kecil diameter nosel, nilai K -pengamatan maupun K -prediksi akan semakin besar. Hal ini mencerminkan adanya ukuran gelembung yang dihasilkan lebih kecil, akan tetapi mempunyai frekuensi lebih banyak, sehingga memberikan peluang untuk menambah luasan kontak antara gelembung udara dengan air. Sedangkan disisi lain akan mempercepat terjadinya proses difusi dari gelembung udara ke air.

Adanya gejala ini didukung oleh Cumby (1987) yang menjelaskan bahwa untuk meningkatkan performansi pada jenis peralatan aerator ini dapat dilakukan dengan cara memperkecil gelembung-gelembung udara yang keluar dari nosel. Dalam penelitian ini ukuran diameter nosel dibuat 1 mm sampai dengan 4 mm sesuai dengan yang disarankan oleh Cumby (1987) yaitu sebesar ± 3 mm, sedangkan Treybal (1985) menyarankan ukuran diameter nosel antara 1,5 sampai dengan 3 mm.

Pada variabel kerapatan jumlah nosel tiap satuan luas (r), ternyata semakin banyak jumlah nosel tiap satuan luasnya akan memberikan kontribusi nilai K yang semakin meningkat dan secara empirik nilai K maksimum dicapai pada kerapatan jumlah nosel tiap satuan luas (r_3) = $16/m^2$. Gejala ini disebabkan karena pada pemakaian kerapatan jumlah nosel yang lebih banyak tiap satuan luas akan diperoleh suatu bentuk penyebaran yang lebih baik, hal ini akan mendukung

pemerataan absorpsi gelembung-gelembung udara oleh air, sedangkan disisi lain pemasangan jumlah nosel yang semakin rapat (pada batas kerapatan tertentu), akan menambah jumlah gelembung-gelembung udara yang dihasilkan dan dengan sendirinya akan menambah luasan kontak antara gelembung udara dan air.

Lebih lanjut tinjauan mengenai kedalaman air (H), diperoleh adanya peningkatan nilai K yang maksimal pada tingkat kedalaman (H3) = 0,75 meter, karena pada tingkat kedalaman yang lebih rendah berarti tingkat volume air yang di aerasi lebih sedikit, sehingga untuk kondisi yang sama akan mengakibatkan hasil pengukuran konsentrasi oksigen yang terlarut dalam air (C) lebih tinggi (karena C_i diukur dalam satuan mg/liter), dengan demikian pada akhirnya akan meningkatkan nilai K. Kondisi untuk menurunkan kedalaman air biasanya sering dilakukan dilapangan, hal ini bertujuan agar batas optimum C_i dapat dicapai.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, berdasarkan analisis empiris diperoleh:

1. Koefisien laju perpindahan massa oksigen ke air (K) oleh aerator dengan udara terkompresi dipengaruhi oleh variabel-variabel: (1) tekanan udara keluar kompresor (P), (2) diameter lubang nosel (do), (3) kerapatan jumlah nosel tiap satuan luas (r), (4) kedalaman air (H), (5) koefisien difusi oksigen ke air (D), (6) rapat massa air (ρ), (7) tegangan permukaan air (σ), (8) viskositas air (μL), (9) viskositas udara (μG), dan (10) percepatan gravitasi (g).
2. Koefisien laju perpindahan massa oksigen ke air (K) oleh aerator dengan udara terkompresi yang didefinisikan dengan persamaan $R = dCt/dt = K(\beta C_s - Ct)$ dalam kaitannya dengan variabel-variabel tersebut, diperoleh hubungan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$K = 1,7943 \cdot 10^{-2} \left[\frac{P}{\mu L} \right]^{0,7939} [do \cdot \alpha]^{-0,2653} \\ \left[\frac{r \cdot \mu G}{g} \right]^{0,2428} \frac{D^{0,9795}}{H^{0,6550}} \cdot \rho^{0,0225}$$

3. Nilai koefisien laju perpindahan massa oksigen kedalam air (K) hasil pengamatan yang maksimal diperoleh pada harga-harga tekanan udara keluar kompresor (P) = 50 Psi atau 344737 N/m², kedalaman air (H) = 0,75 meter, diameter lubang nosel (do) = 1 mm dan kerapatan jumlah nosel tiap satuan luas (r) = 16/m², pada batasan perlakuan parameter penelitian yang telah ditetapkan yaitu: (1) suhu = 26 - 26,5°C, (2) rapat massa air (ρ) = 993,83 Kg/m³, (3) koefisien difusi oksigen ke air (D) = 2,5 · 10⁻⁹ (m²/detik), (4) viskositas air (μL) = 0,862 · 10⁻³ Pa.det, (5) viskositas udara (μG) = 1,84 · 10⁻⁵ Pa.det, (6) tegangan permukaan air (σ) = 0,0718 N/m, dan (7) percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/detik².

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, T. 1987. Perubahan Konsentrasi Oksigen Terlarut Dalam Air Tambak Udang Windu Yang dikelola secara semi Intensif. *Jurnal Penelitian Budidaya Pantai*, Vol.3 (1) 1987: 51-56.
- Boyd, Claude E., 1979. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Agricultural Experiment Station. Auburn University, Auburn, AL, USA.
- _____, 1991. Water Quality Management and Aeration in Shrimp Farming, dalam *Pedoman Teknis Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan*, Jakarta.
- Cumby, T.R., 1987. A Review Of Slurry Aeration, dalam *Journal Agriculture Engineering Research* (1987) 36, 141 - 206.
- Hammer, M.J., 1986. *Water and waste Water Technology*. John Wiley and Sons, Singapore.
- Ilyas, M., 1991. Kajian Tentang Perpindahan Massa Oksigen Oleh Kincir Aerator Air Dan Kebutuhan Dayanya. *Tesis S-2 Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada, Yogyakarta*.
- Kreith, F. (Alih bahasa: Arko Priyono). 1991. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas* (edisi Ketiga). Erlangga, Jakarta.
- Saito, E., 1983. Giant Tiger Prawn (*penaeus monodown fabricus*) Biology, Culture and Economic Feasibility in Indonesia.
- Treybal R.E., 1985. *Mass Transfer Operations*. (Third Edition). MC Graw-Hill Book Company.

