



**KARAKTERISTIK AERASI DENGAN VARIASI DIAMETER NOSEL**

**SKRIPSI**

Oleh

**MUHAMMAD SUPRIYANTO WICAKSONO  
NIM 131910101067**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**KARAKTERISTIK AERASI DENGAN VARIASI DIAMETER NOSEL**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah syarat untuk  
Menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1)  
Dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

**MUHAMMAD SUPRIYANTO WICAKSONO**  
**NIM 131910101067**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK MESIN**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Kedua orang tua saya Bapak Susilo dan Ibu Endang Marianti;
2. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Terimakasih khususnya kepada Bapak Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dedi Dwilaksana, S.T., M.T selaku dosen pembimbing anggota, Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W, S.T., M.Eng dan Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T selaku penguji anggota;
3. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;
4. Semua guru mulai TK, SD, SMP dan SMA.
5. Seluruh teman-teman.

## MOTO

Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain)

(terjemahan Surah *Al-Insyirah* ayat 6-7)<sup>1</sup>

Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya

(terjemakan Surah *Al-Baqarah* ayat 286)<sup>2</sup>

Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap

(terjemahan Surah *Asy-Syarh* ayat 5-8)<sup>3</sup>

Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah

(*Thomas Alva Edison*)

---

<sup>1</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

<sup>2</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

<sup>3</sup> Yayasan Nurul Hayat. 2010. *Al-Qur'an terjemahan dan Tafsir per Kata*. Bandung: Penerbit Hilal

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Supriyanto Wicaksono

NIM : 131910101067

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Karakteristik Aerasi Dengan Variasi Diameter Nosel” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar

Jember, 25 Januari 2019

Yang menyatakan,

Muhammad Supriyanto Wicaksono

NIM. 13191010106

**SKRIPSI**

**KARAKTERISTIK AERASI DENGAN VARIASI DIAMETER NOSEL**

Oleh

Muhammad Supriyanto Wicaksono

NIM 131910101067

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dedi Dwilaksana, S.T., M.T.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Karakteristik Aerasi Dengan Variasi Diameter Nosel” karya Muhammad Supriyanto Wicaksono telah diuji dan disahkan pada:  
hari, tanggal : Jumat, 25 Januari 2019  
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

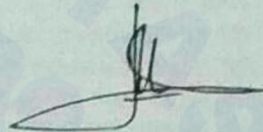
**Tim Penguji :**

Dosen Pembimbing Utama,



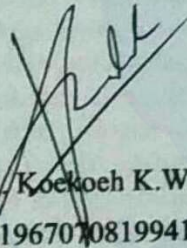
Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T  
NIP. 196911221997021001

Dosen Pembimbing Anggota,



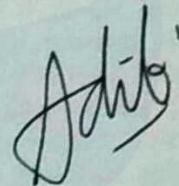
Dedi Dwilaksana, S.T., M.T  
NIP. 196912011996021001

Penguji I,



Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng  
NIP. 196707081994121001

Penguji II,



Ahmad Adib Rosyadi, S. T., M. T  
NIP. 19850117212121001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,



Dr. Ir. Entin Hidayah, M. U. M  
NIP. 196612151995032001

## RINGKASAN

### **Karakteristik Aerasi Dengan Variasi Diameter Nosel;**

Muhammad Supriyanto Wicaksono, 131910101067; 2019: 102 halaman; Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember

Udang merupakan salah satu primadona ekspor Indonesia yang dari tahun ke tahun semakin meningkat. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2015 ekspor udang mencapai 145.077,9 ton. Sedangkan, menurut KKP-Dirjen-PDSPKP-FMB-Kominfo 19 Januari 2018 mengungkapkan bahwa ekspor udang pada periode 2012 hingga 2017 mengalami kenaikan sebesar 10,40% per tahun. Dengan permintaan ekspor udang yang semakin tinggi upaya peningkatan produksi udang terus digalakkan. Pengembangan budidaya tambak udang memiliki resiko terutama mengenai kematian Hal ini disebabkan oleh menurunnya kualitas air tambak akibat akumulasi senyawa organik yang tersuspensi dari sisa pakan dan kotoran udang pada dasar tambak dan terurai membentuk amonia yang sangat mengganggu terhadap kehidupan dan pertumbuhan. Keadaan ini mempengaruhi kecilnya nilai DO dari air sehingga kebutuhan permintaan udara oleh ikan, udang maupun bakterial dalam air mengalami kekurangan. Pengolahan air tambak diperlukan untuk mengurangi penyebab resiko kematian dari udang. Salah satu pengolahan air ialah aerasi. Aerasi bertujuan untuk mendekomposisi air pada tambak. Salah satunya adalah metode *microbubble generation*. Metode ini menggunakan sistem kinerja dengan *microbubble* sebagai intinya. Namun pada metode ini masih jarang diterapkan untuk pengolahan air tambak.

Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya akan dipelajari mengenai aerasi dengan metode *microbubble generation* dengan menghitung karakteristik *bubble*, *dissolve oksigen* selama proses aerasi air tambak, nilai koefisien transfer masa dan kebutuhan daya dari generator untuk *microbubble generation* dengan variasi diameter nozel. Udara akan dialirkan menuju tangki dan keluar melalui nozel *microbubble generation*. Pengujian dilakukan pada setiap variasi diameter nozel, variasi jarak nozel dan debit aliran udara. Pengukuran diameter dari *bubble* digunakan software *ImageJ*. Lama tinggal *bubble* dilakukan dengan menghitung lama waktu *bubble* bertahan pada kolam *bubble* menggunakan perhitungan *frame* video. Pengujian konsentrasi oksigen terlarut dilakukan dengan menggunakan DO meter yang diletakkan pada tangki air limbah tambak dengan selang waktu 5, 10 dan 15 menit. Perhitungan koefisien transfer oksigen volumetrik dan kebutuhan daya spesifik dilakukan setelah data oksigen terlarut didapatkan. Kemudian analisa anova dan regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antar variabel.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter nozel, maka menghasilkan karakteristik *bubble* dengan diameter *bubble* yang semakin besar dengan waktu tinggal *bubble* yang relatif semakin singkat. Hal ini terjadi akibat adanya pemisahan dari *bubble* karena tekanan keluaran yang lebih besar daripada tekanan dalam. Semakin besar diameter nozel nilai DO akan yang diperoleh relatif meningkat. Nilai dari DO selama proses aerasi berada pada kisaran 4 hingga 6 ppm. Nilai yang diperoleh optimum pada diameter nozel 0,8 mm. Dengan rata-rata 6,16 ppm pada debit udara 3 l/min, 6,11 ppm pada debit 6 l/min dan 6,09 ppm pada debit 9 l/min. Semakin besar diameter nozel, nilai koefisien transfer oksigen volumetrik akan semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan daya spesifik. Menurunnya nilai koefisien transfer oksigen volumetrik terjadi akibat selisih antara DO awal dan DO akhir yang semakin besar. Sedangkan, meningkatnya kebutuhan daya spesifik ini terjadi akibat semakin lama waktu aerasi maka semakin banyak daya yang dibutuhkan.



## SUMMARY

### **Aeration Characteristics With Nozzle Diameter Variations;**

Muhammad Supriyanto Wicaksono, 131910101067; 2019: 102 pages; Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Jember

Shrimp is one of the toplineers of Indonesian exports which is increasing from year to year. According to the Central Statistics Agency (BPS) in 2015 shrimp exports reached 145,077.9 tons. Meanwhile, according to the KKP-Dirjen-PDSPKP-FMB-Kominfo on January 19, 2018, it was revealed that shrimp exports in the period of 2012 to 2017 had increased by 10.40% per year. With the higher demand for shrimp exports, efforts to increase shrimp production continue to be encouraged. The development of shrimp pond cultivation has risks especially regarding mortality. This is caused by the decreasing quality of pond water due to the accumulation of organic compounds suspended from the remaining feed and shrimp feces beneath the pond and decomposes to form ammonia which is very disturbing for life and growth. This situation affects the small DO value of water so that the air requirement for fish, shrimp and bacteria in the water suffers. Pond water treatment is needed to reduce the risk of dead shrimps. One of the water treatments is aeration. Aeration aims to decompose water in the pond. One of them is the microbubble generation method. This method uses a performance system with microbubble as its core. However, this method is still rarely applied to pond water treatment.

Therefore, the next study will be focused on aeration with the microbubble generation method by calculating bubble characteristics, dissolve oxygen during the pond water aeration process, mass transfer coefficient values and power requirements of generators for microbubble generation with variations in diameter of nozzles. The air will flow to the tank and exit through the microbubble generation nozzles. Tests were carried out on each variation of the nozzle diameter, variations in the nozzle distance and air flow discharge. Measurement of the diameter of the bubble is used ImageJ software. The length of the bubble stay is done by calculating the length of time the bubble lasts in the bubble pool using the calculation of the video frame. Testing of dissolved oxygen concentration was carried out using DO meters placed in the pond wastewater tank with an interval of 5, 10 and 15 minutes. Calculation of volumetric oxygen transfer coefficients and specific power requirements is carried out after dissolved oxygen data is obtained. Then ANOVA analysis and regression are conducted to find out the relationship between variables.

The results of the study showed that the larger the diameter of the nozzle, the higher the bubble characteristics with bubble diameter with relatively shorter bubble residence time. This is because the separation from the bubble because the output pressure is greater than the internal pressure. The greater the diameter, the DO nozzle value will be increased. The value of DO during the aeration process is in the range of 4 to 6 ppm. The value obtained is optimal at a nozzle diameter of 0.8 mm. The greater the diameter of the nozzle, the volumetric oxygen transfer coefficient value will be increased as the specific power requirements increased as well. The decrease in the volumetric oxygen transfer coefficient is the difference between the larger initial DO and the final DO. Meanwhile, the increase in specific power requirements occurs the longer the aeration time, the more power is needed.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Karakteristik Aerasi Dengan Variasi Diameter Nosel”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

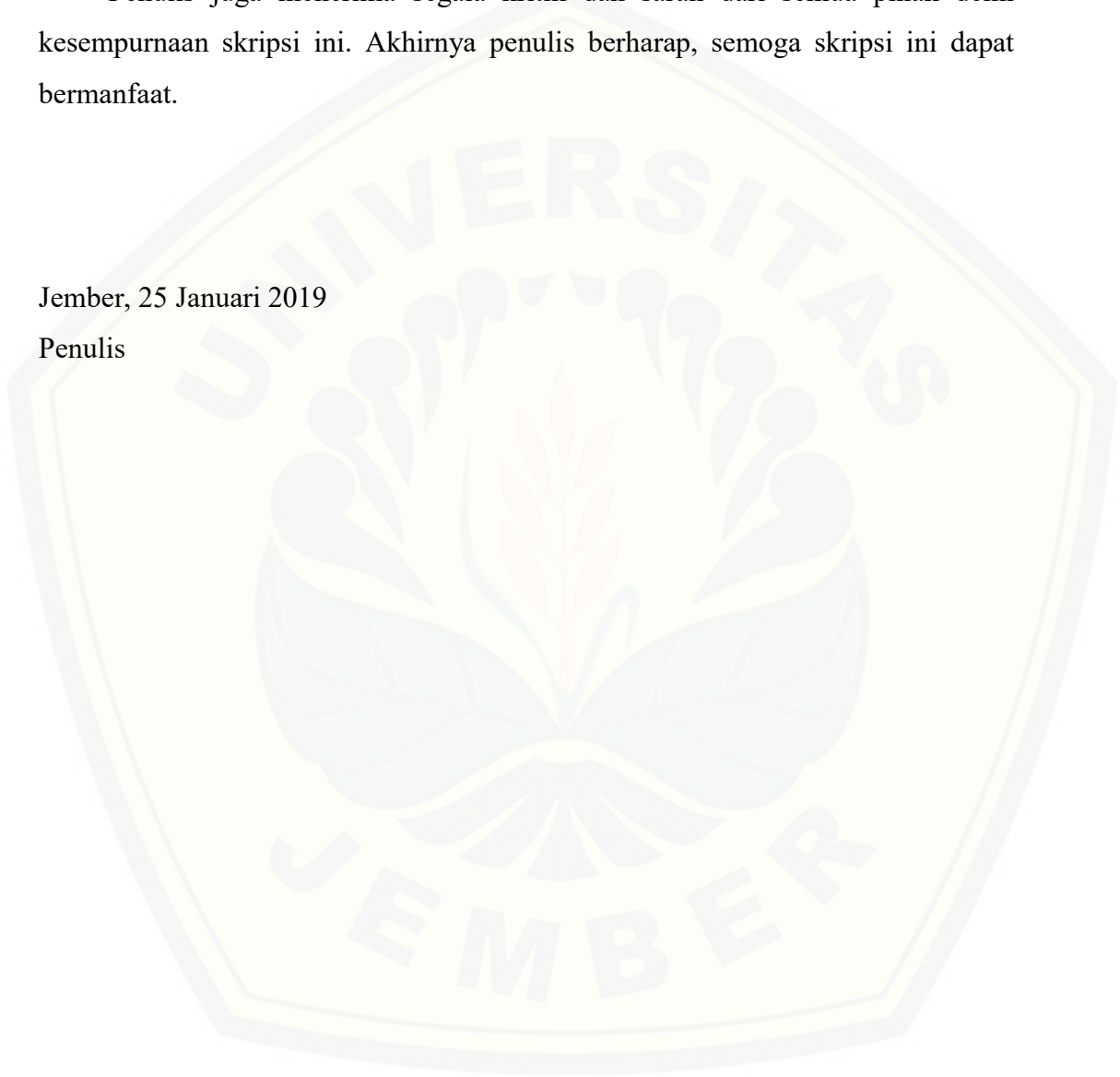
1. Bapak Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dedi Dwilaksana, S.T., M.T selaku dosen pembimbing anggota yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan;
2. Bapak Dr. Robertoes Koekoeh Koentjoro W, S.T., M.Eng dan Bapak Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T selaku penguji anggota yang telah memberikan kritik dan saran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik;
3. Dosen – dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Mesin yang telah memberikan ilmu selama penulis menjadi mahasiswa;
4. Staf – staf beserta karyawan di lingkungan Fakultas Teknik khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak membantu selama penulis menjadi mahasiswa;
5. Kedua orang tua saya, Bapak Susilo dan Ibu Endang Marianti yang telah memberikan doa dan motivasi demi terselesaikannya skripsi ini;
6. Keluarga Bapak Sulasmono, Keluarga Bapak Danang dan Kakak Ernawati yang juga telah memberikan doa dan motivasi demi terselesaikannya skripsi ini;
7. Sahabat saya ANONIM (Bintang Candra Jatmiko, Maulidya Puji Aryani, Dhian Wulan Ramdhani dan Almas Nabilah Mahardiantri), Asyisyifaul Afifah Novriana VG (Ryan Dwi Lesmana, Muhammad Raedifan Sufianto dan Aditya Wahyu Kurniawan), Vape Bull’s Crew (Nanda, Wawan, DJ Tupperware dan om San-San) dan teman – teman panahan di Jember;

8. Teman seperjuangan Teknik Mesin 2013 yang sudah berjuang bersama dari masa ospek sampai menempuh skripsi, serta kakak tingkat maupun adik tingkat yang memberikan dukungan, salam *solidarity forever*;

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 25 Januari 2019

Penulis



DAFTAR ISI

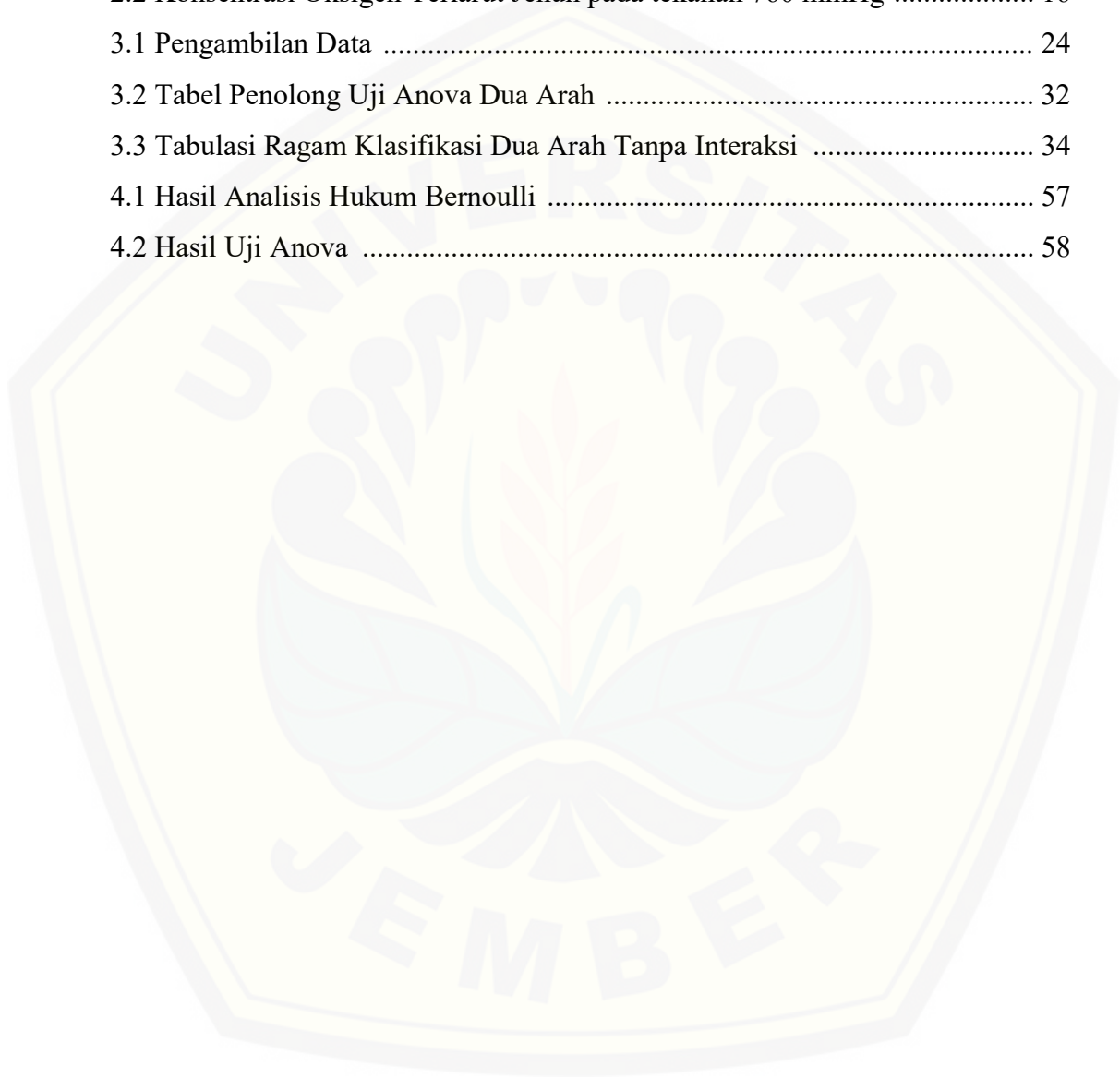
	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN MOTO.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN/SUMMARY .....</b>	<b>vii</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....</b>	<b>3</b>
1.3.1 Tujuan .....	3
1.3.2 Manfaat .....	3
<b>1.4 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Tambak .....</b>	<b>5</b>
2.1.1. Wanamina ( <i>Silvofishery</i> ) .....	6
2.1.2. <i>Structural Equation Modeling</i> (SEM) .....	6
2.1.3. Sistem Budidaya Tambak .....	6
2.1.4. Pengolahan Tambak .....	6
<b>2.2 Kualitas Air .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 Karakteristik Buangan Tambak .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 Biologi Udang .....</b>	<b>8</b>

<b>2.5</b>	<b>Aerasi .....</b>	<b>8</b>
<b>2.6</b>	<b>Jenis Aerator .....</b>	<b>9</b>
2.6.1	<i>Vertical Pumps</i> .....	9
2.6.2	<i>Pumps Sprayers</i> .....	10
2.6.3	<i>Propeller Aspiration Pumps</i> .....	10
2.6.4	<i>Paddle Wheels</i> .....	11
2.6.5	<i>Diffused Air Systems</i> .....	11
2.6.6	<i>Tractor Powered Aerator</i> .....	12
<b>2.7</b>	<b><i>Microbubble Generation (MBG)</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>2.8</b>	<b><i>Bubble (Gelembung)</i> .....</b>	<b>13</b>
2.9.1	Pembentukan Gelembung.....	13
2.9.2	Gerak Gelembung.....	15
<b>2.9</b>	<b><i>Dissolve Oxygen (DO)</i>.....</b>	<b>15</b>
<b>2.10</b>	<b>Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik.....</b>	<b>16</b>
<b>2.11</b>	<b>Kebutuhan Daya Spesifik.....</b>	<b>17</b>
<b>2.12</b>	<b>Debit Aliran .....</b>	<b>18</b>
<b>2.13</b>	<b>Hipotesis.....</b>	<b>19</b>
<b>BAB 3.</b>	<b>METODOLOGI.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Waktu dan Tempat Penelitian.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2</b>	<b>Alat dan Bahan.....</b>	<b>20</b>
3.2.1	Alat.....	20
3.2.2	Bahan .....	20
<b>3.3</b>	<b>Metode Penelitian.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4</b>	<b>Variabel Penelitian.....</b>	<b>21</b>
3.4.1	Variabel Bebas .....	21
3.4.2	Variabel Terikat .....	21
3.4.3	Variabel Terkontrol.....	22
<b>3.5</b>	<b>Prosedur Penelitian.....</b>	<b>22</b>
3.5.1	Tahap Persiapan .....	22
3.5.2	<i>Study Literature</i> .....	23
3.5.3	Perancangan Alat Eksperimen .....	23
<b>3.6</b>	<b>Pengamatan yang Dilakukan .....</b>	<b>24</b>

<b>3.7</b>	<b>Pengumpulan Data.....</b>	<b>25</b>
3.7.1	Pengujian Diameter <i>Bubble</i> .....	25
3.7.2	Pengujian Lama Tinggal <i>Bubble</i> .....	29
3.7.3	Pengujian <i>Dissolve Oksigen</i> .....	30
3.7.4	Perhitungan Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik .....	30
3.7.5	Perhitungan Kebutuhan Daya Spesifik .....	30
<b>3.8</b>	<b>Analisis Data.....</b>	<b>31</b>
3.8.1	Analisis Anova.....	31
3.8.2	Uji Regresi Korelasi.....	35
<b>3.9</b>	<b>Flowchart Penelitian .....</b>	<b>35</b>
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1</b>	<b>Data Hasil Penelitian .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2</b>	<b>Analisa Pengaruh Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> terhadap Karakteristik <i>Bubble</i> .....</b>	<b>37</b>
4.2.1	Analisa Diameter <i>Bubble</i> .....	37
4.2.2	Analisa Lama Tinggal.....	42
<b>4.3</b>	<b>Analisa Besar Kadar Konsentrasi Oksigen Terlarut pada Proses Aerasi.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Analisis Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik pada Proses Aerasi.....</b>	<b>51</b>
<b>4.5</b>	<b>Analisa Kebutuhan Daya Spesifik dari <i>Microbubble</i> <i>Generation</i> pada Proses Aerasi .....</b>	<b>56</b>
<b>4.6</b>	<b>Analisis Hukum Bernoulli .....</b>	<b>57</b>
<b>4.7</b>	<b>Analisis Data.....</b>	<b>58</b>
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>60</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan.....</b>	<b>60</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran .....</b>	<b>60</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>68</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Kriteria Kualitas Air Berdasarkan Kandungan O <sub>2</sub> Terlarut .....	7
2.2 Konsentrasi Oksigen Terlarut Jenuh pada tekanan 760 mmHg .....	16
3.1 Pengambilan Data .....	24
3.2 Tabel Penolong Uji Anova Dua Arah .....	32
3.3 Tabulasi Ragam Klasifikasi Dua Arah Tanpa Interaksi .....	34
4.1 Hasil Analisis Hukum Bernoulli .....	57
4.2 Hasil Uji Anova .....	58



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 <i>Vertical pumps aerator</i> .....	9
2.2 <i>Pumps sprayers aerator</i> .....	10
2.3 <i>Propeller aspirator pumps</i> .....	11
2.4 <i>Paddle wheels aerator</i> .....	11
2.5 <i>Diffuser air systems aerator</i> .....	12
2.6 <i>Tractor powered aerator</i> .....	12
2.7 <i>Komponen microbubble</i> .....	13
2.8 <i>Diagram skematik pembentukan gelembung</i> .....	14
3.1 <i>Tangki aerator</i> .....	22
3.2 <i>Nozel aerator</i> .....	23
3.3 <i>Instalasi Penelitian untuk Aerasi</i> .....	23
3.4 <i>Tampilan Toolbar ImageJ</i> .....	26
3.5 <i>Tampilan Menu File pada ImageJ</i> .....	26
3.6 <i>Tampilan Jendela Open</i> .....	27
3.7 <i>Tools Stright pada Toolbar</i> .....	27
3.8 <i>Jemdela Media Gambar</i> .....	27
3.9 <i>Tampilan Jendela Set Scale</i> .....	28
3.10 <i>Cara Mengubah Format Warna Gambar</i> .....	28
3.11 <i>Tampilan Toolbar Analyze, Measure</i> .....	29
3.12 <i>Tampilan Hasil Pengukuran Bubble</i> .....	29
3.4 <i>Diagram alir penelitian</i> .....	36
4.1 <i>Diameter Bubble dengan Variasi Diameter Nozel Microbubble generation</i> 0,4 mm .....	38
4.2 <i>Diameter Bubble dengan Variasi Diameter Nozel Microbubble generation</i> 0,6 mm .....	39
4.3 <i>Diameter Bubble dengan Variasi Diameter Nozel Microbubble generation</i> 0,8 mm .....	40



4.4 Diameter <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 1,0 mm .....	41
4.5 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,4 mm.....	42
4.6 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,6 mm.....	43
4.7 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,8 mm.....	44
4.8 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 1,0 mm.....	45
4.9 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,4 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	47
4.10 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,6 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	48
4.11 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,8 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	51
4.12 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 1,0 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	52
4.13 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,4 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	52
4.14 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,6 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	53
4.15 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,8 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	54

4.16 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble generation</i> 0,8 mm dan jarak nozle 1 mm (a), 2 mm (b) dan 3 mm (c).....	55
4.17 Kebutuhan Daya Spesifik.....	56



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran A Tabel Data Hasil Penelitian .....</b>	<b>66</b>
4.1 Diameter <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,4 mm .....	66
4.2 Diameter <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,6 mm .....	66
4.3 Diameter <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,8 mm .....	67
4.4 Diameter <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 1,0 mm .....	68
4.5 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble</i> <i>Generation</i> 0,4 mm .....	69
4.6 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble</i> <i>Generation</i> 0,6 mm .....	69
4.7 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble</i> <i>Generation</i> 0,8 mm .....	70
4.8 Lama Tinggal <i>Bubble</i> dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble</i> <i>Generation</i> 1,0 mm .....	70
4.9 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,4 mm .....	71
4.10 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,6 mm .....	71
4.11 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,8 mm .....	72
4.12 Konsentrasi Oksigen Terlarut dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 1,0 mm .....	72
4.13 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,4 mm .....	72

4.14 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,6 mm .....	73
4.15 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 0,8 mm .....	73
4.16 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik dengan Variasi Diameter Nozel <i>Microbubble Generation</i> 1,0 mm .....	74
4.17 Kebutuhan Daya Spesifik <i>Microbubble Generation</i> .....	74
<b>Lampiran B Tabel Analisis dan Regresi</b> .....	<b>75</b>
4.18 Analisis Anova .....	75
4.19 Analisis Regresi Diameter <i>Bubble</i> .....	78
4.20 Analisis Regresi Lama Tinggal <i>Bubble</i> .....	81
4.21 Analisis Regresi Kadar Oksigen Terlarut .....	85
4.22 Analisis Regresi Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik .....	88
4.23 Analisis Regresi Kebutuhan Daya Spesifik <i>Microbubble Generation</i> .....	92
<b>Lampiran C Gambar Penelitian</b> .....	<b>96</b>
4.1 Kolam aerasi .....	96
4.2 Kamera .....	96
4.3 <i>Valve</i> .....	96
4.4 <i>Stopwatch</i> .....	97
4.5 Bor dan Mata bor .....	97
4.6 Kompresor.....	97
4.7 <i>Flowmeter</i> udara .....	98
4.8 DO meter.....	98
4.9 Gunting .....	98
4.10 Komputer .....	99
4.11 Adaptor .....	99
4.12 Jirigen.....	99
4.13 Penggaris.....	100
4.14 Kotak <i>microbubble generation</i> .....	100
4.15 Selang ¼” .....	100
4.15 Proses pembuatan <i>microbubble generation</i> .....	101

4.16 Proses pengambilan gambar diameter <i>bubble</i> .....	101
4.17 Proses aerasi.....	101
4.18 Peta Lokasi Penelitian .....	102



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Udang merupakan salah satu primadona ekspor Indonesia andalan dari sektor perikanan yang perlu ditingkatkan baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya. Permintaan udang dari tahun ke tahun semakin meningkat. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2015 ekspor udang mencapai 145.077,9 ton. Sedangkan, menurut KKP-Dirjen-PDSPKP-FMB-Kominfo 19 Januari 2018 mengungkapkan bahwa ekspor udang pada periode 2012 hingga 2017 mengalami kenaikan sebesar 10,40% per tahun. Dengan permintaan ekspor udang yang semakin tinggi maka, upaya peningkatan produksi udang sebagai komoditas ekspor terus digalakkan, baik melalui intensifikasi budidaya maupun dengan melakukan pembukaan kawasan potensial di luar Pulau Jawa. Antisipasi pengembangan budidaya tambak udang baik secara intensif maupun ekstensif memiliki resiko yang sama, terutama mengenai kematian. Kematian ini terjadi akibat menurunnya kualitas lingkungan budidaya terutama kualitas air tambak. Rendahnya kualitas air tambak dapat menjadi pendorong berkembangnya penyakit patogen yang menyebabkan kematian udang.

Terjadinya penurunan kualitas air tambak udang dapat terjadi akibat akumulasi senyawa organik yang tersuspensi dari sisa pakan dan kotoran udang pada dasar tambak. Hal ini terjadi akibat semakin banyaknya permintaan akan udang yang membuat kebutuhan akan pakan semakin tinggi. Pada dasarnya sering kali pakan yang digunakan memiliki kualitas tinggi, dengan kadar protein sekitar 40%. Menurut Mustofa (2017), hampir 35% pakan yang diberikan ke udang di tambak akan masuk ke lingkungan dalam bentuk TSS. Pakan yang mengalami suspensi kemudian akan terurai membentuk amonia. Bila air tambak mengandung konsentrasi amonia yang tinggi dan berlangsung lama, akan sangat mengganggu terhadap kehidupan dan pertumbuhan. Selain itu, tambak yang sudah berproduksi berkali-kali menyebabkan penimbunan limbah organik yang bercampur dengan tanah tambak (Poernomo, 1988). Senyawa organik yang mengalami penimbunan di tanah tambak dapat memperburuk kualitas dari air tambak. Tanah tersebut selama

proses pemeliharaan selalu tergenang dan dalam keadaan reduktif. Bahan organik tanah tambak mengalami perombakan dalam keadaan reduktif akan mengeluarkan gas beracun seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S yang berbahaya bagi kehidupan air (Boyd, 1989). Keadaan ini mempengaruhi kecilnya nilai DO dari air sehingga kebutuhan permintaan udara oleh ikan, udang maupun bakterial dalam air mengalami kekurangan.

Pengolahan air tambak diperlukan untuk mengurangi penyebab resiko kematian dari udang. Ada beberapa pengolahan dari air tambak seperti: penanaman pohon mangrove, penanaman lumut pada tambak, penggunaan sistem wanamina, menggunakan obat-obatan, pengeringan tambak dan aerasi. Dalam hal ini, pengeringan tanah tambak setelah pemanenan merupakan pilihan utama dan sering dilakukan. Namun, dalam prakteknya pengeringan tanah tambak sering tidak sempurna kurang dari 10-30 hari (Chiang et.al 1989; Fujimura, 1989). Metode lain yang banyak digunakan dalam pengolahan air ialah aerasi. Pengolahan ini bertujuan untuk mendekomposisi air pada tambak. Mikroorganisme melakukan dekomposisi dalam bahan itu sendiri dengan bantuan udara (Kanwal et al. 2011). Penelitian sebelumnya mengenai sistem aerasi telah banyak dilakukan, salah satunya adalah metode *microbubble generation*. Pengolahan metode ini menggunakan sistem kinerja dengan *microbubble* sebagai intinya. Akan tetapi pada metode ini belum banyak di terapkan dalam pengolahan air tambak.

Sehingga, pada penelitian ini akan dipelajari karakteristik *bubble*, kadar oksigen terlarut (*dissolve oxygen*) selama proses aerasi air tambak, nilai koefisien transfer oksigen volumetrik dan kebutuhan daya dari generator untuk *microbubble generation*, dengan variasi diameter nosel. Udara akan dialirkan menuju tangki dan keluar melalui nosel *microbubble generation*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari pemaparan diatas, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai metode aerasi *microbubble generation* pada budidaya udang tambak yang dilakukan dengan mempelajari bagaimana karakteristik gelembung udara,

kadar oksigen terlarut selama proses aerasi air tambak, nilai koefisien transfer oksigen volumetrik dan kebutuhan daya spesifik dari generator pada variasi nozel.

### 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

#### 1.3.1 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik gelembung udara dengan variasi diameter nozel.
2. Mendapatkan nilai dari kadar oksigen terlarut atau *dissolved oxygen (DO)* selama proses aerasi pada air tambak.
3. Menghitung koefisien transfer oksigen volumetrik dan kebutuhan daya spesifik dari *microbubble generation*.

#### 1.3.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini, adalah sebagai berikut.

1. Dapat dijadikan informasi mengenai karakteristik gelembung udara dengan variasi diameter nozel.
2. Dapat mengetahui besar nilai dari kadar oksigen terlarutnya pada air tambak, koefisien transfer oksigen volumetrik, dan daya spesifik *microbubble generation*.
3. Dapat menjadi referensi untuk penelitian berikutnya.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini, adalah sebagai berikut.

1. Penelitian menggunakan variasi diameter nozel 0,4 mm; 0,6 mm; 0,8 mm; dan 1,0 mm.
2. Karakteristik gelembung udara berupa diameter gelembung dan lama tinggal gelembung.
3. Mencari nilai kadar oksigen terlarut atau *dissolved oxygen (DO)*.
4. Menghitung koefisien transfer oksigen volumetrik.
5. Mencari kebutuhan daya spesifik dari *microbubble generation*.
6. Udara lingkungan di anggap sebagai oksigen.



7. Penelitian dilakukan pada temperatur dan tekanan lingkungan.
8. Penelitian dilakukan pada jam 08.00 hingga 13.00 WIB
9. Distribusi udara pada sistem aerasi di anggap merata.
10. Jarak persebaran gelembung diabaikan.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tambak

Pembudidayaan ikan adalah kegiatan untuk memelihara, membesarkan, dan/atau membiakkan ikan serta memanen hasilnya dalam lingkungan yang terkontrol (UU No. 31 / 2004). Di Indonesia, budidaya perairan dilakukan melalui berbagai sarana. Kegiatan budidaya yang paling umum dilakukan di kolam atau empang, tambak, tangki, karamba, serta karamba apung. Definisi tambak atau kolam menurut Biggs *et al.* (2005) adalah badan air yang berukuran 1 m<sup>2</sup> hingga 2 ha yang bersifat permanen atau musiman yang terbentuk secara alami atau buatan manusia. Istilah kolam biasanya digunakan untuk tambak yang terdapat di daratan dengan air tawar, sedangkan tambak untuk air payau atau air asin. Biggs *et al.* (2005) menyebutkan salah satu fungsi tambak bagi ekosistem perairan adalah terjadinya pengkayaan jenis biota air. Bertambahnya jenis biota tersebut berasal dari pengenalan biota-biota yang dibudidayakan. Jenis-jenis tambak yang ada di Indonesia meliputi: tambak intensif, tambak semi intensif, tambak tradisional dan tambak organik. Perbedaan dari ketiga jenis tambak tersebut terdapat pada teknik pengelolaan mulai dari padat penebaran, pola pemberian pakan, serta sistem pengelolaan air dan lingkungan (Widigdo, 2000). Hewan yang dibudidayakan dalam tambak adalah hewan air, terutama ikan, udang, serta kerang.

Keberlanjutan budidaya tambak sangat tergantung pada kondisi kualitas lingkungan perairan. Kondisi lingkungan perairan yang berbeda mempengaruhi kondisi kualitas lingkungan, baik secara fisika, kimia maupun biologi. Senarath dan Visvanathan (2001) menyebutkan bahwa pengembangan usaha budidaya tambak juga menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan disamping keuntungan secara ekonomi.

Sebagai media pemeliharaan biota air, tambak membutuhkan pengelolaan terkait dengan kesesuaian kondisi lingkungan budidaya untuk biota yang dibudidayakan. Pengelolaan yang dilakukan dalam budidaya tambak diantaranya adalah pengelolaan kualitas lingkungan, baik fisika, kimia, maupun biologis (Abowei *et al.*, 2011). Beberapa parameter lingkungan yang penting menurut Kalita

*et al.* (2004) adalah kandungan oksigen terlarut, kekeruhan serta masuknya organisme pengganggu (predator atau parasit).

#### 2.1.1 Wanamina (*Silvofishery*)

*Silvofishery* atau sering disebut sebagai wanamina adalah suatu bentuk kegiatan yang terintegrasi (terpadu) antara budidaya tambak air payau dengan pengembangan mangrove pada lokasi yang sama. Konsep wanamina ini dikembangkan sebagai salah satu bentuk budidaya perikanan berkelanjutan dengan input yang rendah. Pendekatan antara konservasi dan pemanfaatan kawasan mangrove ini memungkinkan untuk mempertahankan keberadaan mangrove yang secara ekologi memiliki produktivitas relatif tinggi dengan keuntungan ekonomi dari kegiatan budidaya perikanan (Bengen, 1998).

#### 2.1.2 *Structural Equation Modeling* (SEM)

Model persamaan struktural, *Structural Equation Model* (SEM) adalah sekumpulan teknik-teknik statistik yang memungkinkan pengujian sebuah rangkaian hubungan relatif “rumit” secara simultan (Ferdinand, 2002).

#### 2.1.3 Sistem Budidaya Tambak

Kegiatan budidaya tambak merupakan pemanfaatan wilayah pesisir sebagai lahan budidaya sehingga dapat meningkatkan jumlah lapangan kerja untuk masyarakat dan perolehan devisa (Mustafa *et al.*, 2010). Beberapa komoditas yang biasa dibudidayakan adalah udang, kepiting, bandeng, nila dan rumput laut. Masing-masing komoditas biasa di budidayakan pada petakan tambak dengan satu jenis komoditas (monokultur) dan juga memanfaatkan satu petakan tambak untuk beberapa komoditas yang didiversifikasi dengan komoditas lain (polikultur).

#### 2.1.4 Pengelolaan Tambak

Kegiatan pengelolaan tambak menunjukkan pola budidaya yang memiliki ciri khas masing-masing. Ciri tersebut terletak pada tahapan persiapan lahan, manajemen kualitas air, manajemen pakan dan manajemen penyakit. Saat ini telah dikenal pengelolaan tambak dengan 3 cara, yaitu :

- a. Sistem Intensif
- b. Sistem Semi Intensif
- c. Sistem Ekstensif (Tradisional)

## 2.2 Kualitas Air

Kualitas air merupakan faktor yang paling penting dalam budidaya baik air tawar maupun air payau. Penurunan jumlah produksi udang seringkali disebabkan karena adanya penurunan kualitas air (Murachman *et al.*, 2010). Amonia adalah bahan organik sisa hasil budidaya yang kaya akan protein. Kadar amonia yang masih dapat ditoleransi oleh organisme budidaya adalah kurang dari 1 ppm, jika melebihi ambang batas tersebut maka akan berbahaya terhadap ikan budidaya. Oksigen terlarut merupakan faktor penting dalam kualitas air. Oksigen terlarut menunjukkan kandungan oksigen di perairan yang digunakan dalam proses respirasi.

Tabel 2.1 Kriteria kualitas air berdasarkan kandungan O<sub>2</sub> terlarut

Kandungan O <sub>2</sub> terlarut (ppm)	Kriteria kualitas air
>6,5	Tidak tercemar
4,5 – 6,4	Tercemar ringan
2 – 4,4	Tercemar sedang
< 2	Tercemar berat

(Sumber : Lee, et al., 1978)

## 2.3 Karakteristik Buangan Tambak

Pada umumnya kegiatan budidaya tambak memberi kontribusi bahan berupa detritus dan deposit sedimen, yang berasal dari akumulasi berbagai bahan organik yang terdapat dalam tambak. Beban buangan tersebut akan menurunkan kadar O<sub>2</sub> dan meningkatkan kadar H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>-N dan PO<sub>4</sub><sup>3</sup>-P dalam kolom air. Namun demikian kualitas buangan tersebut masih juga dipengaruhi oleh kedalaman, suhu air, suplai makanan dan operasi pembersihan (Pillay 1992).

Budidaya ikan yang dilakukan secara intensif membutuhkan suplai pakan baik alami maupun buatan. Menurut Yaniharto (1996) dalam pakan mengandung mengandung 100% N dan 100% P, dan hanya 25% N dan 23% P yang diserap oleh

tubuh ikan sedangkan sisanya berupa kotoran maupun padatan yang tidak termakan yaitu 13% N dan 66% akan mengendap serta 62% N dan 11% P akan larut dalam air. Pemberian pakan yang berlebihan akan mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan perairan oleh sisa pakan yang tidak dimanfaatkan. Sisa pakan ini akan mengalami proses penguraian menjadi bahan beracun, seperti amonia dan nitrit. Menurunnya oksigen terlarut terjadi akibat meningkatnya konsumsi untuk BOD dan COD perairan. Dekomposisi bahan organik dari proses penyuburan juga dapat menurunkan oksigen terlarut (Yaniharto, 1996)

#### 2.4 Biologi Udang

Pola hidup yang merupakan sifat dasar dari udang adalah bersifat bentik dan nokturnal. Sifat bentik dimulai sejak udang bermetamorfosis menjadi Post Larva (PL) (Bailey-Brock dan Moss, 1992). Sifat demikian akan menjadi faktor pembatas manakala di dasar tambak terdapat cemaran timbunan bahan organik (terutama yang berasal dari sisa pakan maupun feses) ataupun pada saat kekurangan oksigen.

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan udang yang hidup di perairan pasifik yang dikenal dengan nama white legs shrimp. Udang ini telah diintroduksi ke Indonesia sejak tahun 2000 dan mengalami perkembangan yang sangat pesat. Udang ini telah dibudidayakan pada setiap tingkat sistem budidaya, mulai dari pola tradisional plus, semi intensif (Gunarto & Hendrajat, 2008) hingga super intensif. Hal ini dimungkinkan karena adanya tingkat toleransi yang sangat luas dari udang ini. Sifat udang vaname yang dapat memanfaatkan semua ruang budidaya, memungkinkan penebaran udang dilakukan dalam jumlah yang cukup tinggi.

#### 2.5 Aerasi

Aerasi merupakan salah satu cara pengolahan air dengan cara mengontakkannya dengan udara (Sutrisno, 2010). Selain itu Mubarakah (2010) menyatakan bahwa teknik aerasi adalah salah satu usaha pengolahan limbah cair dengan cara menambahkan oksigen ke dalam limbah cair. Aerasi juga merupakan proses penambahan konsentrasi oksigen terlarut dalam air limbah (Edahwati, dan

Suprihatin, 2009). Aerasi menyebabkan oksidasi biologis oleh mikroba dapat berjalan dengan baik. Udara dari aerasi berfungsi sebagai sumber konsumsi bakteri agar tetap aktif memakan kandungan organik dalam limbah. Bakteri pengurai mengkonsumsi bahan-bahan organik menjadi bahan-bahan sederhana seperti  $\text{CO}_2$ , CO dan  $\text{H}_2\text{O}$ .  $\text{CO}_2$  terbang ke udara dan  $\text{H}_2\text{O}$  menyatu dengan air (Giting, 2007). Dalam prakteknya aerasi terdapat 2 cara, yaitu memasukkan udara ke dalam air limbah dan memaksa air ke atas untuk berkontak dengan oksigen (Edahwati dan Suprihatin, 2009).

## 2.6 Jenis Aerator

Aerator budidaya sama dengan yang digunakan dalam aerasi air limbah. Namun, aerator air limbah umumnya terlalu mahal untuk digunakan dalam akuakultur. Modifikasi aerator air limbah yang lebih murah telah dikembangkan untuk akuakultur. Aerator ini meliputi *vertical pumps*, *pump sprayers*, *propeller-aspirator-pump*, *paddle wheels*, *diffused-air-systems* dan *tractor-powered aerator*.

### 2.6.1 Vertical Pumps

Aerator yang terdiri dari motor listrik selam dengan impeller yang terpasang pada porosnya. Motor diletakkan dalam posisi mengapung, dan jet impeller mengalirkan air ke udara untuk proses aerasi. Gambar 2.1 sebuah *vertical pumps aerator*. Aerator ini memiliki daya yang cukup besar berkisar 1 kW hingga 50 kW. Namun untuk unit akuakultur tidak lebih besar dari 2 kW. Unit *vertical pumps aerator* untuk akuakultur memiliki impeller dengan kecepatan tinggi. Impeller ini berputar pada kecepatan 1730 rpm atau 3450 rpm.



Gambar 2.1 *vertical pumps aerator*.  
(Sumber: Boyd, 1998)

### 2.6.2 *Pumps Sprayers*

*Pumps Sprayers Aerator* terdiri dari pompa tekanan tinggi yang mengeluarkan air pada kecepatan tinggi melalui satu atau lebih orifon untuk mempengaruhi aerasi. Banyak desain yang berbeda telah digunakan untuk pelepasan orifisi. Proses yang paling sederhana adalah mengeluarkan air langsung dari katub keluar pompa. Metode paling kompleks adalah mengeluarkan air dari orifisi kecil di manifold yang dikaitkan dengan katup keluar pompa. Ukuran aerator memiliki daya yang berkisar antara 2 kW hingga 15 kW dengan kecepatan impeller berkisar antara 500 rpm sampai 1000 rpm.



Gambar 2.2 *Pumps sprayers aerator*  
(Sumber: Boyd, 1998)

### 2.6.3 *Propeller Aspirator Pumps*

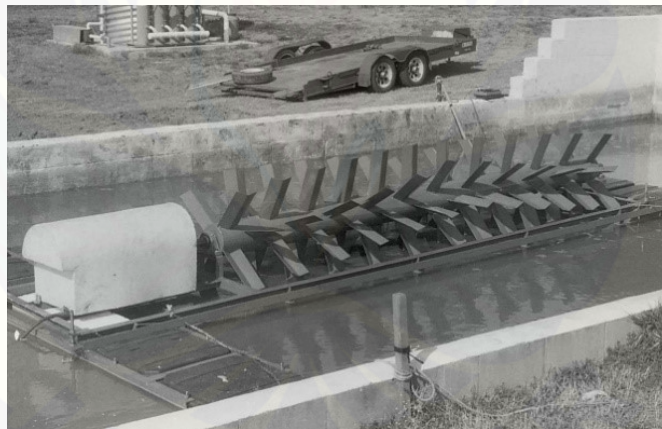
*Propeller Aspirator Pumps Aerator* mempunyai bagian utama yaitu motor listrik, poros berongga yang berputar dengan kecepatan 3450 rpm, sebuah rumah poros dan impeller yang terpasang pada ujung poros berputar. Impeller berfungsi mendorong air dengan kecepatan tinggi sehingga menyebabkan tekanan didalam poros berongga. Udara dipaksa menuruni poros berongga akibat tekanan atmosfer. Gelembung udara keluar dari *diffuser* masuk ke air di sekitar impeller.



Gambar 2.3 *Propeller aspirator pumps*  
(Sumber: Boyd, 1998)

#### 2.6.4 *Paddle Wheels*

Roda dayung yang berputar dari aerator roda dayung menyiram air ke udara untuk proses aerasi. Sebuah aerator roda dayung terdiri dari pelampung, kerangka, motor, mekanisme reduksi kecepatan, kopling, roda dayung dan bantalan. Motor untuk aerator roda dayung biasanya berbelok pada 1750 rpm.



Gambar 2.4 *Paddle wheels aerator*  
(Sumber: Boyd, 1998)

#### 2.6.5 *Diffused Air Systems*

Pada dasarnya *diffused air systems* aerator menggunakan tekanan udara yang rendah. Blower udara volume tinggi untuk memberikan udara ke diffuser yang diposisikan di dasar kolam. Sebagian besar *diffused air systems* aerator mengeluarkan sejumlah besar udara pada tekanan rendah. *Diffused air systems* aerator yang melepaskan gelembung halus biasanya lebih efisien daripada pelepasan gelembung kasar.





Gambar 2.5 *Diffuser air systems aerator*  
(Sumber : [www.indimart.com](http://www.indimart.com))

#### 2.6.6 *Tractor Powered Aerator*

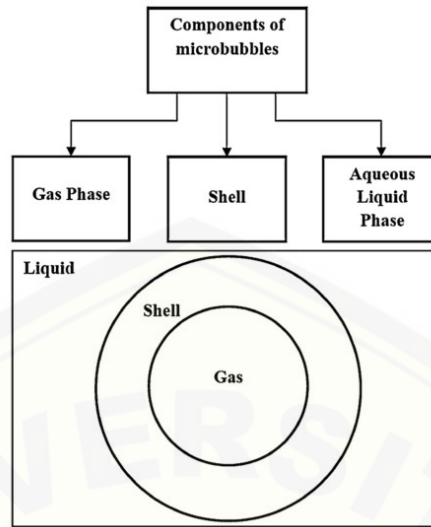
Aerator besar seperti *tractor powered aerator* telah banyak digunakan untuk aerasi darurat. Aerator tersebut digerakkan oleh *power take off* (PTO) tractor pertanian. Aerator ini memiliki keuntungan sangat besar dan dengan cepat dapat meningkatkan konsentrasi DO, mudah dipindah-pindah dan tidak memerlukan listrik.



Gambar 2.6 *Tractor powered aerator*  
(Sumber: Boyd, 1998)

#### 2.7 *Microbubble Generation (MBG)*

*Microbubble Generation (MBG)* merupakan salah satu alat atau cara untuk menghasilkan gelembung udara di dalam air (Hidayat, 2008) dengan karakteristik yang berbeda. Prinsip kerja pada MBG adalah memanfaatkan tekanan udara luar dengan tekanan fluida dalam pipa sampai titik tekanan vakum udara.



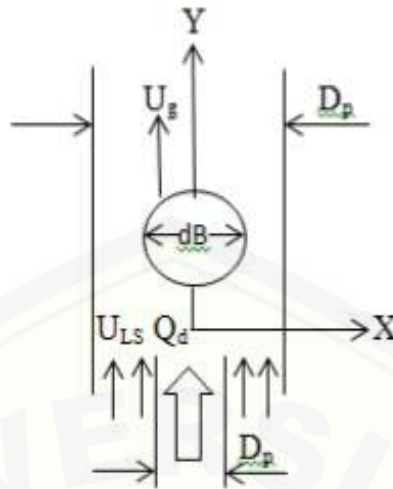
Gambar 2.7 Komponen *microbubble*  
(Parmar,et.al. 2013)

## 2.8 *Bubble* (Gelembung)

*Bubble* adalah bentuk bola-bola yang berisi udara, bola-bola air (air sabun, buih, dsb) yang berisi udara (KBBI). *Bubble* bundar berbentuk bola, terbentuk karena adanya suatu gayatarik menarik yang disebut dengan tegangan permukaan yang menarik molekul-molekul air sekuat mungkin untuk membentuk kelompok-kepompok (Nurchayani. 2012).

### 2.8.1. Pembentukan *Bubble*

Pembentukan *bubble* ditentukan oleh banyak parameter seperti yang disusun oleh Salvatore Cesar Pais. Parameter tersebut adalah tegangan permukaan air, viskositas dinamik air, viskositas dinamik udara, densitas air, densitas udara, diameter pipa, deiameter *nozzle*, *superficial liquid velocity*, debit udara dan percepatan gravitasi.



Gambar 2.8 Diagram skematik pembentukan gelembung  
(Sumber: Hidayat, 2008)

Ada beberapa gaya yang bekerja pada pembentukan *bubble* (Hidayat, 2008), seperti :

1. Gaya Apung (*Bouyanncy Force*)
2. Gaya Tegangan Permukaan Cairan (*Surface Tension Forece*)
3. Momentum Flux Udara (*Inersia Forece*)
4. Gaya Seret (*Drag Force*)

Pada dasarnya pembentukan gelembung terdiri dari 2 tahap (Hidayat, 2008), yaitu :

1. Tahap pengembangan (*Expantion Stage*)
2. Tahap pelepasan (*Detachment Stage*)

Tahap pengembangan, *bubble* mengembang ke arah radial sebagai hasil dari injeksi gas, melalui katup tunggal, dimana jejak pembentukan *bubble* Dempet pada ujung katup. Pengembangan ditentukan oleh besarnya gaya yang melepaskan dan menahan pada gaya-gaya keseimbangan.

Tahap pelepasan terjadi karena *bubble* mendapatkan injeksi udara yang terus-menerus sehingga volume *bubble* bertambah dan akhirnya terlepas (Hidayat, 2008).

Pengamatan *bubble* udara dengan teknik fotografi dilakukan oleh peneliti-peneliti seperti Van Dierendonck dalam Wijayanti (2008), yang mengukur diameter

*bubble*, Peter dan Pal dalam Wijayanti (2008), yang menemukan bahwa bentuk *bubble* bervariasi dari elipsoidal sampai bulat topi (*spherical cap*) dari data fotografi. Perbedaan geometri *bubble* terjadi akibat adanya kesetimbangan tegangan permukaan dengan tekanan yang ada di dalam. Ketika *bubble* memperkecil luas permukaan, timbul perbedaan tekanan udara di luar dan di dalam *bubble*. Udara di dalam akan mendorong ke arah luar untuk menahan *bubble*. Sementara itu, tekanan udara di luar menekan ke dalam.

### 2.8.2. Gerak *Bubble*

Pada umumnya, gerakan ke atas dari sebuah *bubble* bebas terdiri dari mengayun-ayun (*rocking*), zig-zag, dan spiral (Brucker, 1999). Lintasan gerak *bubble* naik secara rektilinear (seperti garis lurus) pada mula dekat nosel. Akan tetapi, selanjutnya akan berbentuk spiral ketika semakin menjauh dari nosel. Lintasan *bubble* pada medan yang jauh menunjukkan bahwa periode putar bersinkronisasi dengan *vortex shedding* tetapi panjang gelombang dari gerakan spiral menurun seiring *bubble* bergerak ke atas (S. Chun et. al).

Penelitian yang dilakukan oleh Ristanto dan Sugeng (2004) di Laboratorium Mekanika Fluida membahas tentang transisi pergerakan dari lintasan lurus menjadi zig-zag dan diperoleh bahwa bentuk *bubble* yang terjadi pada saat keluar nosel cenderung lurus dan pada saat jauh dari nosel akan berbentuk spiral.

## 2.9 *Dissolve Oxygen (DO)*

*Dissolve oxygen* atau oksigen terlarut merupakan sebuah kebutuhan dasar yang menyokong kehidupan tanaman dan hewan didalam air. Air memiliki kemampuan untuk menyediakan oksigen untuk kelangsungan makhluk hidup didalamnya. Air mengandung kira-kira 8 ppm. Standar minimum oksigen terlarut yang diperlukan kehidupan ikan adalah 5 ppm.

DO atau oksigen terlarut dapat dihitung dengan menggunakan DO meter yang diletakkan didalam tangki. Nilai perhitungan DO ini dapat digunakan untuk menghitung jumlah koefisien transfer massa ( $k_L a$ ). Perhitungan menurut *American Society of Civil Engineers (ASCE)* model “one-zone” (ASCE, 1992):

$$\frac{dC}{dt} = k_L a (C^* - C) \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana  $C$  adalah konsentrasi oksigen terlarut dalam fasa cair (mg/l) dan  $C^*$  konsentrasi jenuh oksigen dalam air (mg/l).

Diasumsikan nilai  $k_L a$  dan  $C^*$  konstan sepanjang periode pengujian. Maka untuk nilai  $C$  dapat dirumuskan :

$$C = C^* - (C^* - C_0) \exp(-k_L a t) \dots\dots\dots 2.2$$

Kadar transfer oksigen volumetrik (VOTR) dapat dihitung dengan persamaan (Li-Bing Chu, et.al. 2008):

$$VOTR = k_L a \cdot C^* \dots\dots\dots 2.3$$

Tabel 2.2 Konsentrasi Oksigen Terlarut Jenuh pada tekanan 760 mmHg

Suhu	DO
23	8,68
24	8,53
25	8,38
26	8,22
27	8,07
28	7,92
29	7,77
30	7,63

(Sumber: Benefield, 1982)

### 2.10 Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik

Koefisien transfer oksigen volumetrik  $k_L a$  diukur dengan metode keadaan tidak stabil dan konsentrasi oksigen terlarut (Terasaka, et.al. 2011).  $k_L a$  dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\ln C_L - \ln C_0 = -\frac{k_L a}{1-\epsilon_G} t_A \dots\dots\dots 2.4$$

Dimana :

$C_L$  = Konsentrasi oksigen terlarut

$C_0$  = Konsentrasi oksigen terlarut awal

$t_A$  = Waktu aerasi

$\epsilon_G$  = Gas Hold – up

Gas Hold – up atau penumpukan gas dapat di rumuskan sebagai :

$$\varepsilon_G = \frac{l_0 - l_L}{h_0 + l_0 - l_L} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

$l_L$  = Jarak dari sensor level ke permukaan cairan aerasi

$h_0$  = Tinggi cairan statis

$l_0$  = Jarak antara sensor level dan permukaan cairan statis

atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\ln(C^* - C_L) - \ln(C^* - C_0) = \frac{k_L a}{1 - \varepsilon_G} t_A \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

$C^*$  = Konsentrasi jenuh oksigen terlarut

Laju aliran gas bervariasi untuk kecepatan gas dangkal  $U_G$  antara  $0.05 \times 10^{-3}$  dan  $20 \times 10^{-3}$  m/s untuk membandingkan masing-masing distributor gas.

Kumar. B. (1997), mengungkapkan kenaikan konsentrasi pada kenaikan ketinggian dapat disebabkan oleh penggabungan dan pecahnya *bubble* dalam kolom. Ukuran *bubble* mula-mula (*initial bubble sizes*) yang terbentuk dari distributor udara kemungkinan membesar, lalu semakin lama pecah ketika bergerak naik. Sedangkan *bubble* yang lebih kecil, semakin bergerak naik kecepatannya berkurang sehingga meningkatkan konsentrasi udara.

Menurut Wijayanti (2008) kecenderungan kenaikan konsentrasi lokal terjadi pada tiap kenaikan ketinggian. Kenaikan konsentrasi disebabkan kenaikan volume *bubble* pada setiap ketinggian. Kenaikan volume *bubble* disebabkan volume mengembang karena semakin keatas tekanan air semakin berkurang. Konsentrasi *bubble* naik seiring dengan naiknya debit. Ukuran dan jumlah *bubble* mempengaruhi konsentrasi *bubble*.

## 2.11 Kebutuhan Daya Spesifik

Konsumsi daya dari kompresor gas  $E_G$  digunakan sebagai sumber tenaga yang diperlukan untuk membuat aliran cairan berkecepatan tinggi dan memecah *bubble* menjadi *microbubble*. Konsumsi daya dari kompresor gas  $E_G$  diperkirakan sebagai berikut (Terasaka, et.al. 2011) :

$$E_G = wW_e \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

$W_e$  dan  $w$  adalah usaha gas bertekanan melalui distributor gas dan laju aliran massa gas.

Sedangkan konsumsi daya dari pompa cairan  $E_L$  dinyatakan sebagai :

$$E_L = \eta W \dots\dots\dots 2.8$$

Dimana :

$W$  dan  $\eta$  adalah konsumsi daya listrik dari pompa cairan dan efisiensi keseluruhan dari pompa cairan. Nilai  $W$  diukur dengan menggunakan meteran penjepit dan potensiometer tegangan.

Untuk total daya keseluruhan dapat di hitung melalui persamaan berikut :

$$E = E_L + E_G \dots\dots\dots 2.9$$

Kebutuhan daya spesifik yang dibutuhkan  $E/V_L$  dapat dihitung dengan :

$$\frac{E}{V_L} = \frac{E_L + E_G}{V_L} \dots\dots\dots 2.10$$

Dimana  $V_L$  adalah volume cairan dikolom gelembung konstal  $0.05 \text{ m}^3$ .

## 2.12 Debit Aliran

Debit aliran adalah jumlah fluida yang mengalir dalam satuan volume per waktu. Debit adalah satuan besaran fluida yang keluar dari daerah aliran. Satuan debit yang digunakan adalah  $\text{m}^3/\text{s}$  atau  $\text{l}/\text{min}$ . Debit aliran adalah laju aliran fluida dalam bentuk volume air yang melewati suatu penampang melintang per satuan waktu (Asdak, 2007).

Debit air adalah ukuran banyaknya volume air yang dapat lewat dalam suatu tempat atau dapat ditampung dalam suatu tempat tiap satuan waktu (Khasanah, S. 2014). Debit air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = A.V \dots\dots\dots 2.11$$

Dimana :

$$Q = \text{Debit aliran} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$A = \text{Luas penampang} (\text{m}^2)$$

$V =$  Kecepatan aliran air ( $\frac{m}{s}$ )

atau,

$$Q = \frac{v}{t} \dots\dots\dots 2.12$$

Dimana  $v$  adalah volume aliran dalam  $m^3/s$ , dan  $t$  adalah waktu aliran dalam second (s) .

Penelitian yang dilakukan oleh Trihutomo P. (2015) menyimpulkan bahwa:

1. Peningkatan volume alir udara meningkatkan jumlah gelembung yang dihasilkan. Peningkatan volume alir udara juga mengakibatkan penyebaran gelembung semakin melebar.
2. Peningkatan volume alir udara meningkatkan diameter rata-rata gelembung. Peningkatan volume alir udara mengakibatkan semakin melebarnya interval diameter gelembung.
3. Pada daerah dekat *bubble generator* gelembung-gelembung mulai terbentuk secara individu, semakin gelembung tersebut bergerak keatas yaitu pada daerah *fully develop* terjadi pemisahan dan penggabungan gelembung, pada daerah dekat permukaan ukuran gelembung cenderung stabil karena tidak terjadi pemisahan dan penggabungan gelembung lagi.
4. Pada berbagai volume alir udara, sebaran diameter gelembung cenderung tidak merata karena muncul gelembunggelembung yang berukuran sangat besar dan sangat kecil dari diameter rata-ratanya.

### 2.13 Hipotesis

Berdasarkan kajian diatas maka diperoleh hipotesa bahwa semakin besar diameter nosel maka diameter *bubble* yang dihasilkan semakin besar serta semakin singkat waktu tinggal *bubble*. Hal ini akan diikuti oleh semakin meningkatnya kadar oksigen terlarut, kebutuhan daya dan menurunnya nilai koefisien transfer volumetrik. Namun, hal ini dapat terjadi dengan syarat bahwa debit udara yang dibutuhkan adalah sama.



### BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun penelitian ini akan dilaksanakan secara tersusun pada :

Waktu : Januari 2019

Tempat : PT. Pandawa Lima Sejahtera Bersama.

Jl. Lintas Selatan, Manderan II, Puger Kulon, Puger, Kabupaten Jember,  
Jawa Timur.

#### 3.2 Alat dan Bahan

##### 3.2.1 Alat

Adapun alat yang akan digunakan dalam analisis ini, yaitu :

1. Tangki air kaca ukuran 50 cm x 50 cm x 50 cm
2. DO *meter* YSI 550A
3. Kamera Nikon 600D
4. *Compressor* Wipro WP8501
5. *Flowmeter* udara
6. Komputer
7. Adaptor 220W 10A DC 12V
8. *Valve* ¼"
9. *Cutter*
10. Bor dan Mata bor PCB
11. Gunting
12. *Double tape*
13. Jirigen
14. Penggaris 30cm

##### 3.2.2 Bahan

Adapun bahan yang akan digunakan dalam analisis ini, yaitu :

1. Air tambak
2. Kaca 50cm

3. Lem kaca
4. Selang air ¼”
5. Kotak plastik

### 3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian menggunakan metode eksperimental dimana merupakan metode pengamatan langsung yang digunakan untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari aerasi. Aerasi air limbah tambak pada tangki percobaan. Pengujian dilakukan dengan melihat karakteristik *bubble* (diameter *bubble* dan lama tinggal *bubble*), menghitung koefisien transfer oksigen volumetrik, kebutuhan daya dan kadar oksigen terlarut pada sistem aerasi.

### 3.4 Variable Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut :

#### 3.4.1 Variabel Bebas

Variabel yang ditentukan secara bebas oleh peneliti. Variabel ini menjadi landasan untuk mengetahui hasil penelitian. Variable yang menyebabkan atau mempengaruhi, faktor yang diukur, dimanipulasi atau diamati dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variable bebas dari penelitian ini adalah besar diameter nosel *microbubble generation*, jarak antara nosel dan debit udara.

#### 3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat ditentukan oleh besarnya variabel bebas. Variabel ini merupakan faktor-faktor yang diobservasi dan diukur untuk menemukan adanya pengaruh variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah: karakteristik gelembung (diameter gelembung dan lama tinggal gelembung), koefisien transfer oksigen volumetrik, kebutuhan daya spesifik dan kadar oksigen terlarut.

### 3.4.3 Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang dikontrol keberadaannya agar tidak melebihi batas. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah: tekanan udara dan lama aerasi.

## 3.5 Prosedur Penelitian

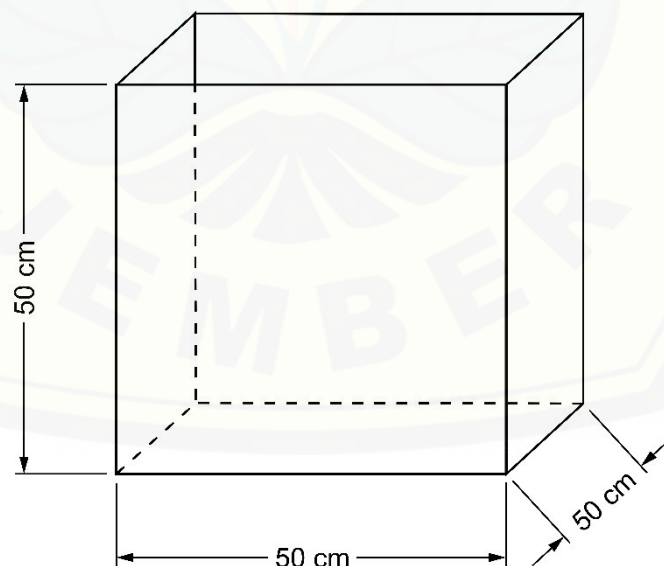
Dalam Pembuatan dan penelitian skripsi ini, dilakukan tahapan-tahapan atau prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

### 3.5.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan adalah tahapan awal yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pada tahap ini dilakukan segala persiapan hal yang di perlukan untuk penelitiann. Pengambilan sampel air limbah, persiapan segala alat dan bahan.

- a. Pengumpulan Alat dan Bahan
- b. Pembuatan Tangki Aerator

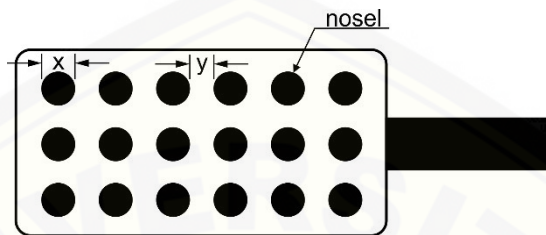
Pembuatan tangki aerasi dilakukan dengan menggunakan bahan kaca transparan dengan ketebalan 3 mm. Kaca dibentuk kolom balok dengan ukuran dari tangki adalah 50 cm x 50 cm x 50 cm.



Gambar 3.1 Tangki aerator

c. Pembuatan Katub Generator *Microbubble*

Katub *microbubble generation* dibuat menggunakan kotak plastik dengan ukuran 6 cm x 4cm. Kotak plastik dibor dengan variasi diameter nosel (x) 0,4 mm; 0,6 mm; 0,8 mm dan 1,0 mm. Jarak antara nosel (y) juga divariasikan yakni 1 mm, 2 mm dan 3 mm.



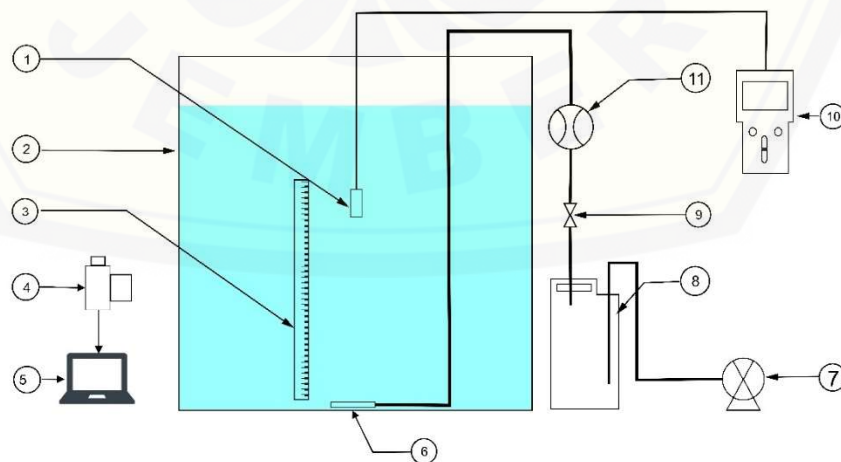
Gambar 3.2 Nosel aerator.

### 3.5.2 Study Literatur

Sumber-sumber *literature* dari penelitian sebelumnya, buku, jurnal maupun berita. Pencarian dilakukan untuk menunjang pengetahuan mengenai karakteristik, metode maupun prinsip kerja lainnya.

### 3.5.3 Perancangan Alat Eksperimen

Perancangan dilakukan dengan menggabung semua komponen. Tangki aerasi, *microbubble generation*, selang, *compressor*, *flowmeter* udara, dan tabung udara, seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Instalasi penelitian untuk aerasi.

Keterangan :

1. Sensor DO meter
2. Tangki
3. Penggaris
4. Kamera
5. Komputer
6. *Microbubble Generator*
7. *Flowmeter* Udara
8. *Valve*
9. Jurigen (Tangki Udara)
10. DO Meter
11. Kompresor

### 3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian yang dilakukan ini akan diamati sebagai berikut :

1. Karakteristik *bubble*
2. Koefisien transfer oksigen volumetrik
3. Kebutuhan daya spesifik
4. *Dissolve oksigen*

Tabel 3.1 Pengambilan data.

Diameter Nosel (mm)	Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (liter/menit)	Diameter <i>bubble</i> (um)	Lama Tinggal <i>bubble</i> (s)	Kadar Oksigen Terlarut (ppm)	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik (cc/s)	Kebutuhan Daya Spesifik (Watt)
0,4	1	3					
		6					
		9					
	2	3					
		6					
		9					
	3	3					
		6					
		9					
0,6	1	3					
		6					

Diameter Nosel (mm)	Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (liter/menit)	Diameter <i>bubble</i> (um)	Lama Tinggal <i>bubble</i> (s)	Kadar Oksigen Terlarut (ppm)	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik (cc/s)	Kebutuhan Daya Spesifik (Watt)	
0,6	1	9						
		2	3					
			6					
	9							
	3	3						
		6						
		9						
	0,8	1	3					
			6					
9								
2		3						
		6						
		9						
3		3						
		6						
		9						
1,0	1	3						
		6						
		9						
	2	3						
		6						
		9						
	3	3						
		6						
		9						

### 3.7 Pengumpulan Data

Pengambilan data meliputi karakteristik *bubble* (diameter *bubble* dan lama tinggal *bubble*) dan *dissolve oksigen*.

#### 3.7.1 Pengujian Diameter *Bubble*

Pengujian diameter *bubble* dilakukan dengan pengambilan gambar menggunakan kamera. Pengambilan Gambar dilakukan dengan cara manual. Menggunakan mode burst lima kali untuk pengambilan langsung beberapa gambar, yang kemudian akan dipilih salah satu. Percobaan ini akan dilakukan pada setiap variasi diameter nosel, variasi jarak nosel dan debit aliran udara. Untuk mengukur diameter dari *bubble* digunakan software *ImageJ*. Di ambil sample sebanyak 10 *bubble* paling jelas dari gambar tersebut.

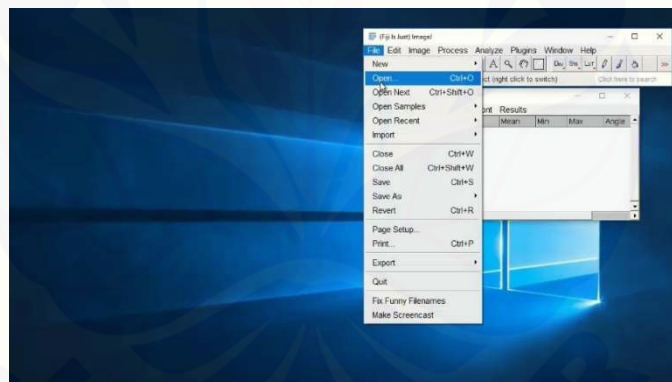
Langkah-langkah pengukuran diameter *bubble* dengan menggunakan *software imageJ*, adalah sebagai berikut:

1. Membuka *software imageJ*, disini saya menggunakan *imageJ* dari FIJI
2. Tunggu hingga muncul tampilan *toolbar imageJ*, seperti pada gambar



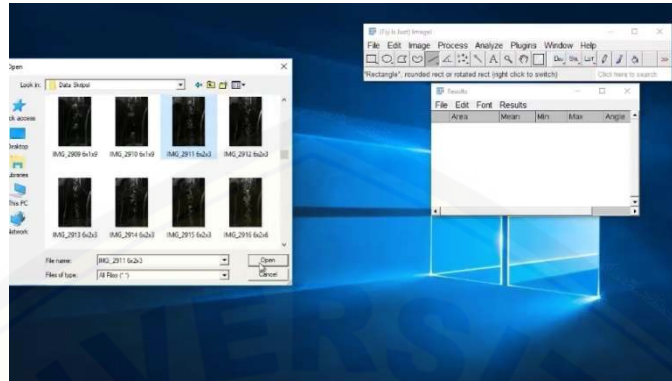
Gambar 3.4 Tampilan *toolbar imagej*

Setelah *software* siap, klik menu *file* pada *toolbas imageJ*, pilih *open*.



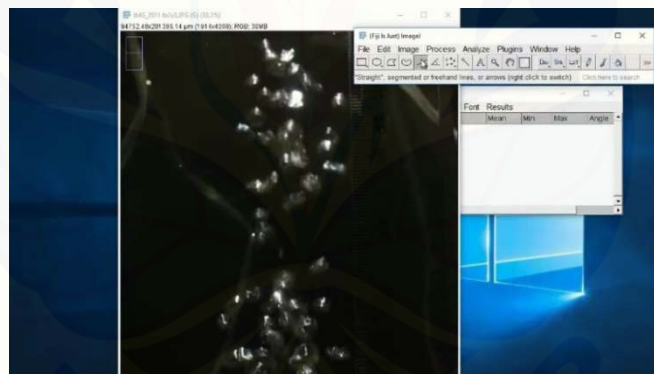
Gambar 3.5 Tampilan menu *file* pada *imagej*

3. Tunggu hingga muncul windows dari menu *open*. Pilih gambar *bubble* yang akan didapatkan, kemudian klik *open*.

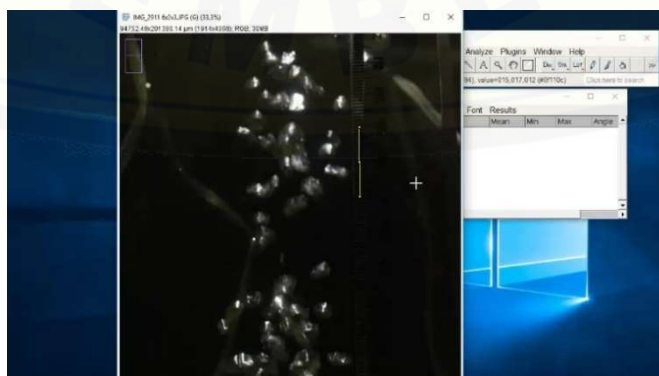


Gambar 3.6 Tampilan jendela *open*

4. Setelah gambar *bubble* muncul, atur skala gambar dengan ukuran yang sebenarnya. Pilih *tools straight* pada *toolbar*, kemudian arahkan kursor pada gambar. Tarik garis dari ukuran pada penggaris.



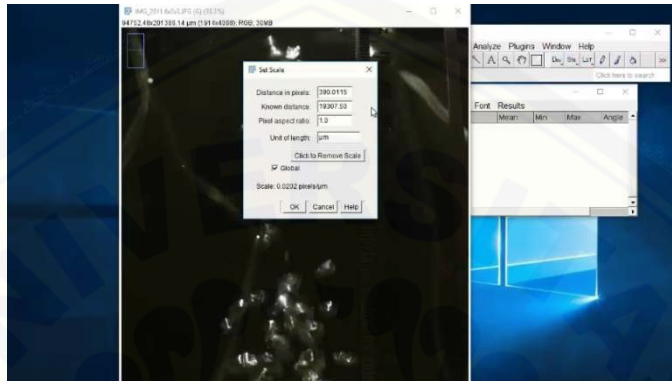
Gambar 3.7 *Tools stright* pada *toolbar*



Gambar 3.8 Jendela media gambar

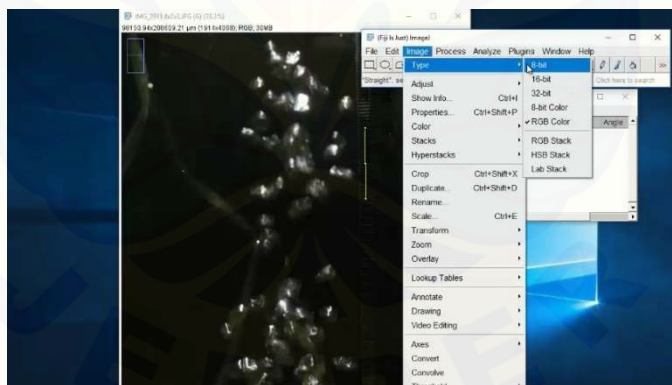


Pilih menu *analyze* → *set scale*, tunggu hingga muncul jendela *set scale*. Isikan ukuran yang diketahui pada penggaris yang telah diubah dalam ukuran mikro ke *known distance*. *Unit of length* diisi dengan satuan unit yang digunakan. Kemudian, centang *global* dan klik ok.



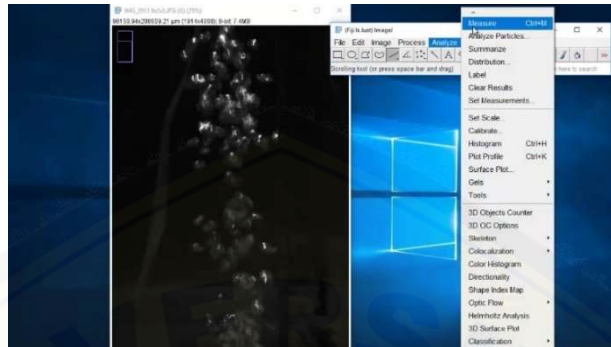
Gambar 3.9 Tampilan jendela *set scale*

- Ubah format warna gambar agar gambar lebih jelas. Pilih menu *image*, kemudian *type* → *8 bit*.



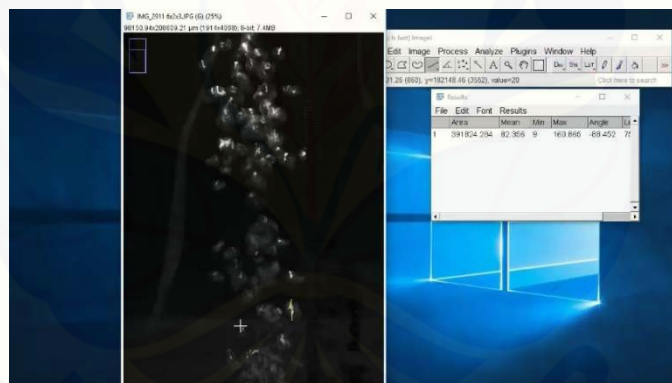
Gambar 3.10 Cara mengubah format warna gambar

- Mengumpulkan data diameter *buble*. Pilih menu *analyze* → *measure*, tunggu hingga jendela *measure* keluar.



Gambar 3.11 Tampilan *toolbar analyze, measure*

Kemudian, tarik garis pada *buble* yang akan diukur menggunakan *tools stright*. Setelah itu, tekan tombol “M” pada *keyboard* untuk memasukkan nilai pada jendela *measure*.



Gambar 3.12 Tampilan hasil pengukuran *bubble*

- Apabila telah selesai untuk menyimpan hasil diameter dalam bentuk excel pilih menu *file*, kemudian pilih *save* pada jendela *measure*.

### 3.7.2 Pengujian Lama Tinggal *Bubble*

Pengujian lama tinggal *bubble* dilakukan dengan menghitung lama waktu *bubble* dapat bertahan pada kolam *bubble* dengan menggunakan perhitungan *frame* pada video *bubble*. Lama waktu *bubble* di hitung mulai dari saat *bubble-bubble*

keluar dari *microbubble generator* hingga *bubble-bubble* tersebut pecah pertama kali. Percobaan ini dilakukan dengan pengambilan data sebanyak tiga kali pada setiap variasi diameter nosel, variasi jarak nosel dan debit aliran udara.

### 3.7.3 Pengujian *Dissolve Oxygen*

Pengujian kadar oksigen terlarut dilakukan dengan menggunakan DO meter yang diletakkan pada tangki air yang telah diisi dengan air limbah tambak. Percobaan dilakukan dengan pengambilan data pada variasi waktu lama aerasi terhadap variasi diameter nosel, variasi jarak nosel dan debit aliran udara. Pengambilan data konsentrasi oksigen terlarut dilakukan sebelum dilakukannya proses aerasi dan setelah proses aerasi. Pengulangan pengambilan data dilakukan pada selang waktu 5, 10 dan 15 menit.

### 3.7.4 Perhitungan Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik

Perhitungan koefisien transfer oksigen volumetrik dilakukan setelah data oksigen terlarut didapatkan. Koefisien transfer oksigen volumetrik ( $k_L a$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\frac{dC}{dt} = k_L a (C^* - C) \dots\dots\dots 3.1$$

Dimana  $C$  adalah konsentrasi oksigen terlarut dalam fasa cair (mg/l) dan  $C^*$  konsentrasi jenuh oksigen dalam air (mg/l).

### 3.7.5 Perhitungan Kebutuhan Daya Spesifik

Perhitungan kebutuhan daya spesifik digunakan untuk mengetahui daya yang dibutuhkan untuk memecah gelembung menjadi *microbubble*. Konsumsi daya dari kompresor gas ( $E_G$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_G = wW_e \dots\dots\dots 3.2$$

Dimana :

$W_e$  dan  $w$  adalah usaha gas bertekanan melalui distributor gas dan laju aliran massa gas.

Sedangkan konsumsi daya dari pompa cairan  $E_L$  dinyatakan sebagai :

$$E_L = \eta W \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

$W$  dan  $\eta$  adalah konsumsi daya listrik dari pompa cairan dan efisiensi keseluruhan dari pompa cairan. Nilai  $W$  diukur dengan menggunakan meteran penjepit dan potensiometer tegangan.

Untuk total daya keseluruhan dapat di hitung melalui persamaan berikut :

$$E = E_L + E_G \dots\dots\dots 3.4$$

Kebutuhan daya spesifik yang dibutuhkan  $E/V_L$  dapat dihitung dengan :

$$\frac{E}{V_L} = \frac{E_L + E_G}{V_L} \dots\dots\dots 3.4$$

Dimana  $V_L$  adalah volume cairan dikolom gelembung konstal  $0.05 \text{ m}^3$ .

### 3.8 Analisis Data

#### 3.8.1 Analisis Anova

Analisa data dilakukan menggunakan uji anova dua arah untuk mengetahui hubungan antara pengaruh diameter nosel microbubble generator terhadap karakteristik *bubble*.

Hipotesis (F) yang digunakan adalah sebagai berikut :

$H_0 \equiv$  tidak ada hubungan antara diameter nosel microbubble generator terhadap karakteristik bubble.

$H_1 \equiv$  terdapat hubungan antara diameter nosel microbubble generator terhadap karakteristik bubble.

Dengan kriteria uji sebagai berikut :

- a. Jika  $F_{\text{hitung}} \leq F_{\text{tabel}}$ , maka  $H_0$  diterima
- b. Jika  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ , maka  $H_1$  diterima

Pada penelitian ini, uji Anova yang dipergunakan adalah uji anova dua arah tanpa interaksi dengan tahapan sebagai berikut.

- a. Menghitung nilai  $F_{\text{hitung}}$  :
  1. Membuat tabel penolong

Tabel 3.2 Tabel penolong uji anova dua arah

Baris (b)	Kolom (j = c)						Rata – Rata (X <sub>i</sub> )
	1	2	3	.....	j	X <sub>i</sub>	
1	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	.....	X <sub>1j</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>
2	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	.....	X <sub>2j</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>2</sub>
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
i = r	X <sub>i1</sub>	X <sub>i2</sub>	X <sub>i3</sub>	.....	X <sub>ij</sub>	X <sub>r</sub>	X <sub>r</sub>
Total X <sub>j</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	.....	T <sub>j</sub>	T <sub>x</sub>	X
Rata – Rata (X <sub>j</sub> )	X <sub>j</sub>	X <sub>j</sub>	X <sub>j</sub>	.....	X <sub>j</sub>	X <sub>j</sub>	

Dimana :

X<sub>i</sub> = Total nilai pengamatan pada baris ke-b

X<sub>j</sub> = Total nilai pengamatan pada baris ke-c

2. Total nilai pengamatan pada baris ke b

$$X_i = X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{ij} \dots\dots\dots 3.5$$

3. Total nilai pengamatan pada baris ke j

$$X_j = X_{11} + X_{21} + X_{31} + \dots + X_{ij} \dots\dots\dots 3.6$$

4. Total nilai pengamatan T<sub>x</sub>

$$T_x = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_r \dots\dots\dots 3.7$$

5. Menghitung rata – rata populasi pada baris ke-b dan kolom ke-j

6. Menghitung rata – rata populasi

7. Menentukan nilai jumlah kuadrat antarbaris (JKB):

Persamaan :

$$JKB = \frac{(\sum X_1)^2 + (\sum X_2)^2 + \dots + (\sum X_r)^2}{j} - \frac{(\sum T_x)^2}{b j} \dots\dots\dots 3.8$$

8. Menentukan nilai derajat kebebasan antarbaris

Persamaan :

$$dk_B = b - 1 \dots\dots\dots 3.9$$

9. Menentukan nilai ragam antar baris

Persamaan :

$$S_1^2 = \frac{JKB}{dk_b} \dots\dots\dots 3.10$$

10. Menentukan nilai jumlah kuadrat antar kolom (JKK)

Persamaan :

$$JKB = \frac{(\sum T_1)^2 + (\sum T_2)^2 + \dots + (\sum T_j)^2}{b} - \frac{(\sum Tx)^2}{b j} \dots\dots\dots 3.11$$

11. Menentukan nilai derajat kebebasan antar kolom

Persamaan :

$$dk_K = j - 1 \dots\dots\dots 3.12$$

12. Menentukan nilai ragam antar kolom

Persamaan :

$$S_2^2 = \frac{JKK}{dk_k} \dots\dots\dots 3.13$$

13. Menentukan nilai jumlah kuadrat total (JKT)

Persamaan :

$$JKT = [(X_{11})^2 + (X_{12})^2 + (X_{13})^2 + \dots + (X_{nj})^2] - \frac{(Tx)^2}{b j} \dots\dots\dots 3.14$$

14. Menentukan nilai jumlah kuadrat galat (JKG)

Persamaan :

$$JKG = JKT - JKB - JKK \dots\dots\dots 3.15$$

15. Menentukan nilai derajat kebebasan galat

Persamaan :

$$dk_G = (b - 1)(j - 1) \dots\dots\dots 3.16$$

16. Menentukan nilai ragam galat

Persamaan :

$$S_3^2 = \frac{JKG}{dk_G} \dots\dots\dots 3.17$$

17. Menentukan nilai F hitung

Menentukan nilai F<sub>1</sub>

$$F_1 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \dots\dots\dots 3.18$$

Menentukan nilai F<sub>2</sub>

$$F_2 = \frac{S_1^2}{S_3^2} \dots\dots\dots 3.19$$

## 18. Membuat tabulasi ragam

Tabel 3.3 Tabulasi ragam klasifikasi dua arah tanpa interaksi

No	Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Ragam	F Rasio
1.	Antar Baris	JKB	dk <sub>B</sub>	$S_1^2 = \frac{JKB}{dk_B}$	$F_1 = \frac{S_1^2}{S_2^2}$
2.	Antar Kolom	JKK	dk <sub>K</sub>	$S_2^2 = \frac{JKK}{dk_K}$	$F_2 = \frac{S_2^2}{S_3^2}$
3.	Galat	JKG	(dk <sub>B</sub> ) (dk <sub>K</sub> )	$S_3^2 = \frac{JKG}{(dk_B)(dk_K)}$	

(Sumber : Siregar, S. 2017)

- b. Nilai  $F_{\text{tabel}}$  dapat dicari dengan menggunakan tabel F.

Caranya :

$$F = F_1 / F_2$$

$$F_{\text{tabel}} \text{ dan } F_{\text{hitung}} = F_{\{(\alpha)(dk_b = \text{pembilang}), (dk_k = \text{penyebut})\}}$$

Dimana :

$$\text{Pembilang} = n - 1 \text{ atau } j - 1, \text{ penyebut} = (n-1)(j-1), F_{\text{tabel}} = F_{(\alpha)(dk_b, dk_k)}$$

- c. Membandingkan  $F_{\text{tabel}}$  dan  $F_{\text{hitung}}$

Tujuan membandingkan  $F_{\text{tabel}}$  dan  $F_{\text{hitung}}$  ialah untuk mengetahui apakah ada atau tidaknya perbedaan.

- d. Kaidah Pengujian

- a. Jika  $F_{1 \text{ hitung}} \leq F_{1 \text{ tabel}}$ , maka tidak ada perbedaan pada kelompok data baris

Jika  $F_{1 \text{ hitung}} \geq F_{1 \text{ tabel}}$ , maka ada perbedaan pada kelompok data baris

- b. Jika  $F_{2 \text{ hitung}} \leq F_{2 \text{ tabel}}$ , maka tidak ada perbedaan pada kelompok data kolom

Jika  $F_{2 \text{ hitung}} \geq F_{2 \text{ tabel}}$ , maka ada perbedaan pada kelompok data kolom

## 3.7.2 Uji Regresi Korelasi

Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah berupa jarak nosel dan debit.

Maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Keterangan :

Y = Diameter Bubble

A = konstanta

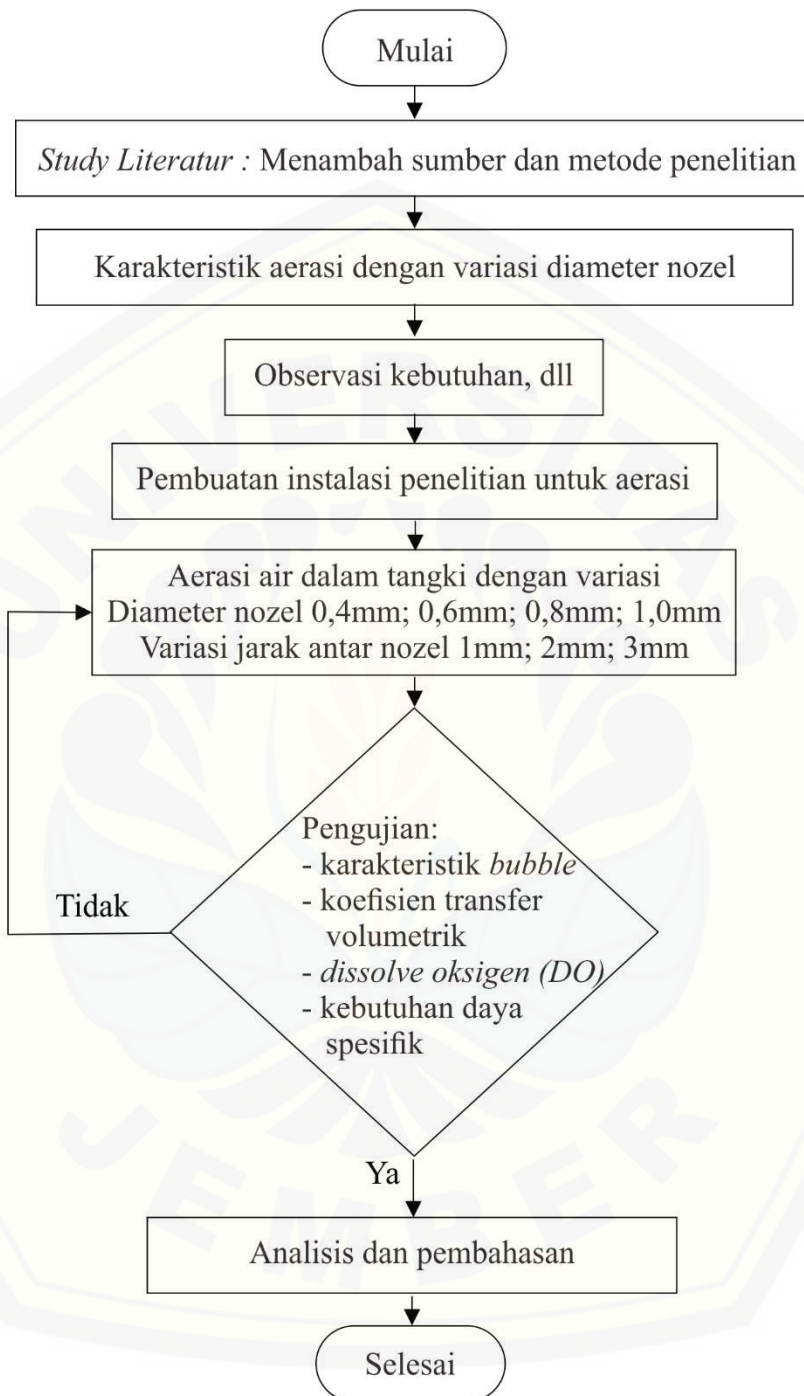
X1 = Jarak Nozle

X2 = Debit Udara

### 3.9 *Flowchart* Penelitian

Penelitian dimulai dengan mencari literatur dari berbagai sumber untuk menunjang penelitian hingga memperoleh sebuah judul dari penelitian. Setelah diperoleh judul penelitian, dilakukan observasi kebutuhan apa saja yang diperlukan untuk penelitian ini. Pembuatan dan instalasi dari bahan-bahan dan alat yang digunakan untuk penelitian dilakukan. Kemudian dilakukan proses tahapan penelitian dengan mencari data-data pengujian seperti: karakteristik *bubble* (diameter *bubble* dan lama tinggal *bubble*), kadar oksigen terlarut (DO), koefisien oksigen volumetrik dan kebutuhan daya spesifik MBG. Akan tetapi apabila kadar oksigen tidak memenuhi percobaan akan diulang sebelum menuju ke tahap analisis dan pembahasan. Namun, apabila kadar oksigen memenuhi maka dilanjutkan ke tahap analisis dan pembahasan hingga ditarik kesimpulan.





Gambar 3.4 Flowchart penelitian

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter nosel ,maka menghasilkan karakteristik *bubble* dengan diameter *bubble* yang semakin besar dengan waktu tinggal *bubble* yang relatif semakin singkat.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter nosel nilai DO akan yang diperoleh relatif meningkat. Nilai dari DO selama proses aerasi berada pada kisaran 4 hingga 6 ppm. Nilai yang diperoleh optimum pada diameter nosel 0,8 mm. Dengan rata-rata 6,16 ppm pada debit udara 3 l/min, 6,11 ppm pada debit 6 l/min dan 6,09 ppm pada debit 9 l/min.
3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter nosel, nilai koefisien transfer oksigen volumetrik akan semakin menurun seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan daya spesifik. Menurunnya nilai koefisien transfer oksigen volumetrik terjadi akibat selisih antara DO awal dan DO akhir yang semakin besar. Sedangkan, meningkatnya kebutuhan daya spesifik ini terjadi akibat semakin lama waktu aerasi maka semakin banyak daya yang dibutuhkan.

### 5.2 Saran

Saran terkait penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait jumlah *bubble* setiap detiknya , laju kecepatan *bubble* dan arah *bubble* untuk menambah karakteristik lain dari gelembung.
2. Diperlukan percobaan awal untuk menentukan berapa tinggi kolom agar *bubble* tidak cepat sampai ke permukaan kolom.
3. Sebaiknya *microbubble generator* menggunakan bahan yang lebih kuat agar ketika dibor tidak meninggalkan permukaan lubang yang kasar. Sedangkan untuk pengeboran sendiri sebaiknya menggunakan bor duduk agar lubang yang terbentuk tegak dan tidak miring.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abowei, J.F.N.; Briyai, O.F. and Bassey, S.E. (2011): A review of some basic parasite diseases in culture fisheries flagellids, dinoflagellids and ichthyophthriasis, ichthyobodiasis, coccidiosis, trichodiniasis, heminthiasis, hirudinea infestation, crustacean parasite and ciliates. *British Journal of Pharmacology and Toxicology* 2(5): 213-226.
- Asdak, C. 2007. Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Gadjah Mada University. Press. Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik. 2015. Ekspor udang menurut negara tujuan utama [serial online]. <https://www.bps.go.id/statictable/2014/09/08/2015/ekspor-udang-menurut-negara-tujuan-utama-2000-2015.html> (22 November 2018).
- Bailey-Brock, J.H. & Moss, S.M. 1992. Penaeid taxonomy, biology and zoogeography, p. 9-27. In: Fast A.W. and Lester L.J. (Eds). Marine shrimp culture: principles and practices. *Developments in aquaculture and fisheries science, volume 23. Elsevier Science Publisher B.V., The Netherlands.*
- Benfield, Larry D., 1982, Process chemistry for water and wastewater treatment, *Prentice Hall Inc.*, New Jersey.
- Bengen, D. G. 1998. Sinopsis analisis statistik multivariabel multidimensi. program pascasarjana ipb, Bogor. 95p
- Biggs J, Williams P, Whitfield P, Nicolet P, Weatherby A. 2005. 15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 15: 693–714.
- Boyd, C.E. 1989. Water quality management and aeration in shrimp farming. *Fisheries and Allied Aquacultures Departmental Series No. 2. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University. Alabama.* 70 p.
- Boyd, Claude E. 1998. Pond water aeration systems. *Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Auburn, AL 36849-5419, USA. Aquacultural Engineering*, 18 9-40.
- Brucker, Christoph. 1999. Structure and dynamics of the wake of bubbles and its relevance For bubble interaction. *Aerodynamisches Institut der RWTH Aachen, Wullnerstrasse zw. 5 u.7, D-52062 Aachen, Germany. Physics Of Fluids Volume 11, Number 7.*
- Chiang, P.D-M., C-M Kuo and C-F Liu. 1989. *Pond Preparation for Shrimp Growout. In Proceedings of the Southeast Asia Shrimp Farm Management*

- Workshop*. Editor M. Akiyama. American Soybean Association. Singapore. p: 48 – 55.
- Chu, Li-Bing., Xing, Xin-Hui., Yu, An-Feng., Sun, Xu-Lin., Jurcik, Benjamin. 2008. Enhanced treatment of practical textile wastewater by microbubble ozonation. *Process Safety and Environment Protection* 86 389-393.
- Chun, S. & Sung, H. J. 2003 Large-scale vortical structure of turbulent separation bubble affected by unsteady wake. *Exp. in Fluids* 34, 572–584.
- D. Thoenes. 1997. Course on two-phase reactors. Jurusan Teknik Kimia, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Endahwati, L., dan Suprihatin. 2009. Kombinasi proses aerasi, adsorpsi dan filtrasi pada pengolahan air limbah industri perikanan. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. Vol.1 No. 2.
- Ferdinand, Augusty. 2002. Structural equation modelling dalam penelitian manajemen. Semarang: FE UNDIP.
- Fujimura, T. 1989. Management of shrimp farm in malaysia. in proceedings of the southeast asia shrimp farm management workshop. Editor D.M. Akiyama. *American Soybean Association. Singapore*, p: 22 – 41.
- Ginting, Ir. Perdana. 2007. Sistem pengelolaan lingkungan dan limbah industri,. Cetakan pertama. Bandung: Yrama Widya.
- Gunarto dan Hendrajat , E. A. 2008. Budidaya udang vaname, *Litopenaeus Vannamei* pola semi intensif dengan aplikasi beberapa jenis probiotik komersial. *J. Ris. Akuakultur* 3 (3): 329-338.
- Hidayat, Moh. Fahmi. 2008. Microbubble Generator Type Spherical in Flowing Water Tube. *Skripsi*. Depok: Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Indriawati, K. Pembuatan modul kontrol kualitas air tambak udang sebagai sarana pembelajaran perbaikan teknik budidaya udang. Surabaya. Jurusan Teknik Fisika FTI, ITS.
- Isdarwaman, Nur. 2005. Kajian tentang pengaturan luas dan waktu bagi degradasi limbah tambak dalam upaya pengembangan tambak berwawasan lingkungan di kecamatan wonokerto kabupaten pekalongan. semarang. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Kalita, B., Choudhury, M. and Ojha, S. N. 2004. Indigenous technical knowledge on pond construction and maintenance, fish seed transportation, and fish

- health management in Assam hills. *Indian Journal of Traditional Knowledge* Vol. 3(2), pp. 192-197.
- Kanwal, S., Iram, S., Khan, M. and Ahmad, I. 2011. Aerobic Composting of Water Lettuce for Preparation of Phosphorus Enriched Organic Manure. *African Journal of Microbiology Research*.
- Kementrian Kelautan dan Perikanan. 2018. Produktivitas perikanan indonesia. jakarta. forum merdeka barat 9 kementrian komunikasi dan informatika.
- Khasanah, S. 2014. Laporan praktikum hidrologi debit aliran air. Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Universitas Jendral Soedirman Fakultas Pertanian Purwokerto.
- Kochba, Malka., Diab, Shaher., Avnimelech, Yoram. 1994. Modeling of nitrogen transformation in intensively aerated fish ponds. *Aquaculture*, 120 95
- Komar, C., Turnbull, J.F., Roque, A., Fajer, E., Duncan, N.J. 2004. Effect of water treatment and aeration on the percentage hatch of demersal, adhesive eggs of the bullseye puffer (*sphoeroides annulatus*). *Aquaculture*, 229 147-158.
- Komarawidjaja, W. 2006. Pengaruh perbedaan dosis oksigen terlarut (do) pada degradasi amonium kolam kajian budidaya udang. jakarta. Peneliti Ekotoksikologi Perairan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. *J.Hidrosfir* Vol.1 No.1 Hal. 32-37.
- Kristanto, Philip. 2004. Ekologi industri. Yogyakarta: Andi.
- Laksana, Marttriadhi. 2008. Microbubble generator dengan metode spherical ball dalam pipa beraliran. departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indosenia.
- Lee, C.D., S.B. Wang and C.L. Kuo. 1978. Benthic and fish as biological indicator of water quality with references of water pollution control in developing countries. Bangkok, Thailand. 150 p.
- Mubarokah, Isti. 2010. Gabungan metode aerasi dan adsorpsi dalam menurunkan fenol dan cod pada limbah cair ukm batik purnama di desa kliwonan kecamatan masaran kabupaten sragen. Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat Fakultas Ilmu Keolahraagaan Universitas Negeri Semarang.
- Murachman., Hanani, Nuhfil., Soemarno and Muhammad, Sahri. 2010. Model polikultur udang windu (*Penaeus monodon* Fab), ikan bandeng (*Chanos-chanos* Forskal) dan rumput laut (*Gracillaria* Sp.) secara tradisional. *Jurnal Pembangunan dan Alam Lestari* Vol. 1 No.1, No. ISSN. 2087 – 3522.

- Mustafa, A. And Samsud, Jesmond. 2010. High stocking density of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) juvenile cultured in acid sulfate soil-affected pond with different durations of rearing. *Indonesian Aquaculture Journal* 5:61-72
- Mustofa, A. 2017. Kandungan total zat padat tersuspensi dari outlet tambak udang intensif di kabupaten jepara. jepara. fakultas sains dan teknologi universitas islam nahdlatul ulama. *Jurnal DISPROTEK Volume* 8 No. 1.
- Nurchayani, R.D. 2012. Surabaya aquatic center. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Parmar, Rajeev. et. al. 2013 Microbubble generation and microbubble-aided transport process intensification a state of the art report. India. Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Guwahati.
- Pertille, J dan Boyd C.E. 1984. Comparisons of oxygen-transfer rates and water-circulating capabilities of emergency aerators for fish ponds. Amerika Serikat. *Auburn University*.
- Pillay, T.V.R., 1992. Aquaculture and the environment. *Fishing Book News*, London, 189 p.
- Poernomo, A. 1988. Faktor lingkungan dominan pada budidaya udang intensif. seminar usaha budidaya udang tambak di Jawa Timur. Surabaya. 63 p.
- Purwanta, Wahyu., Firdayati, Mayrina. 2002. Pengaruh aplikasi mikroba probiotik pada kualitas kimiawi perairan tambak udang. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 3 No. 1. 61-65.
- Ratnawati, E. 2008. Budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) sistem semi-intensif pada tambak tanah sulfat masam. maros. Peneliti Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau.
- Rosariawari, Firra., Wahyudijanto, Iwan Dan Rachmanto, Tuhu Agung. Peningkatan Efektifitas Aerasi dengan Menggunakan Microbubble Generation (MBG). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* Vol.8 No.2. Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
- Senarath, U. and C. Visvanathan, 2001. Environmental issues in brackish water shrimp aquaculture in Sri Lanka. *Environ. Manage.*, 27: 335-348.
- Supraptini, 2002. Pengaruh limbah industri terhadap lingkungan di Indonesia. *Media Libang Kesehatan* 12 (2).

- Sutrisno, Joko. 2010. Removal kadar besi (Fe) dalam air bersih secara spray aerator disertai pembubuhan kaporit [serial online]. <http://digilib.unipasby.ac.id/files/disk1/6/gdlhub-jokosutris-284-1-joko.pdf>
- Suwoto, Hidayat Suryoto., Mangampa, Markus. Aplikasi probiotik dengan konsentrasi berbeda pada pemeliharaan udang vaname (*Litopenaeus Vannamei*). Sulawesi Selatan. Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau.
- Terasaka, Koichi., Hirabayashi, Ai., Nishimo, Takanori., Fujioka, Satoko., Kobayashi, Daisuke. 2011. Development of microbubble aerator for waste water treatment using aerobic activated sludge. *Chemical Engineering Science* 66 3172-3179.
- Trihutomo, P. 2015. Pengaruh volume alir udara terhadap pola sebaran gelembung pada bubble plume. Universitas Negeri Malang. *Jurnal Rekayasa Mesin* Vol.6, No.2, p: 127-135.
- Triyatmo, Bambang., Radjagukguk, Bostang dan Lelana, Iwan Yusuf Bambang. 1996. Kualitas air dan tanah tambak udang yang mendapat perlakuan pengeringan dan aerasi setelah penggenangan. *Jurnal Perikanan UGM* 1: 1-11.
- Widigdo, B. 2000. diperlukan pembakuan kriteria eko-biologis untuk menentukan" potensi alami" kawasan pesisir untuk budidaya udang.
- Wijayanti, Y. 2008. Pengaruh debit terhadap dinamika gelembung udara dalam kolom aeator. Yogyakarta. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. *Teknik Sipil Volume 8* No. 8 pp: 133 – 147.
- Yaniharto, D., 1996. "Dampak Limbah dari Aktivitas Budi Daya Laut terhadap Ekosistem Perairan" dalam Herunadi, dkk. *Kumpulan Makalah Seminar Maritim Indonesia 1996*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi bekerjasama dengan Dewan Pertahanan Keamanan Nasional.

**Lampiran A Tabel Data Hasil Penelitian**

Tabel 4.1 Diameter *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,4 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Diameter Bubble (um)										Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,0	3,0	2937,5	2697,3	4627,2	3830,5	5369,6	3714,0	3221,2	3113,2	3469,3	3081,7	3606,2
	6,0	3433,1	4620,6	3146,8	4181,6	2563,1	4718,9	3684,2	4914,4	3577,8	5864,8	4070,5
	9,0	3119,9	2735,8	3291,5	2752,2	2756,3	2332,3	3218,9	2844,6	2579,4	3889,3	2952,0
2,0	3,0	3838,6	3939,9	3982,9	2768,7	3659,7	2922,1	3078,2	3964,2	3819,2	4109,2	3608,3
	6,0	4141,6	3864,3	4194,9	3576,9	3020,1	3693,5	4002,8	4406,0	3817,0	4194,9	3891,2
	9,0	3584,3	4841,0	5051,5	3578,2	3339,9	4420,1	4425,1	5508,8	4630,6	4420,1	4380,0
3,0	3,0	3907,5	3280,0	4556,9	4572,3	3710,2	3710,2	3103,4	4572,3	5418,7	4572,3	4140,4
	6,0	4779,7	3290,7	3745,8	2471,4	2389,9	3819,9	4013,8	4183,0	4364,5	4368,3	3742,7
	9,0	4116,9	4116,9	2940,6	4721,3	3338,5	4513,2	3286,2	3745,4	3099,7	3534,2	3741,3

Tabel 4.2 Diameter *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,6 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Diameter Bubble (um)										Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,0	3,0	3.939,3	5.284,6	5.120,4	4.604,8	6.273,4	5.525,5	4.763,3	4.686,2	5.692,8	5.284,6	5.117,5
	6,0	3.722,9	4.687,5	2.169,5	2.625,5	2.193,3	3.551,3	3.241,2	4.192,6	4.241,9	4.365,8	3.499,2
	9,0	2.987,5	4.417,3	4.574,7	4.591,5	4.239,5	3.351,5	2.246,6	4.106,7	3.650,5	4.389,3	3.855,5
2,0	3,0	3.730,6	3.263,4	4.384,4	3.245,8	3.730,6	4.677,2	3.965,4	3.906,8	3.720,3	3.191,9	3.781,6
	6,0	3.112,9	3.689,3	4.003,0	3.130,9	3.037,2	3.750,1	4.482,9	4.533,1	4.271,8	4.664,2	3.867,5



Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Diameter Bubble (um)										Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2,0	9,0	3.782,8	4.719,5	3.342,1	4.559,2	4.719,5	3.821,9	4.015,8	3.834,8	3.473,1	3.529,7	3.979,8
3,0	3,0	5.003,7	4.423,1	3.274,9	4.248,2	3.846,1	3.269,2	3.658,9	4.423,1	5.000,0	4.811,5	4.195,9
	6,0	3.171,4	4.643,4	4.931,7	4.713,6	4.586,4	2.676,8	4.053,9	3.845,8	3.342,9	3.895,8	3.986,2
	9,0	3.782,8	4.719,5	3.342,1	4.559,2	4.719,5	3.821,9	3.277,2	4.015,8	3.834,8	3.473,1	3.954,6

Tabel 4.3 Diameter *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,8 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Diameter Bubble (um)										Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,0	3,0	5.273,8	4.756,6	3.535,5	4.670,4	4.756,6	3.162,3	3.335,4	4.756,6	4.257,3	3.579,5	4.208,4
	6,0	4.045,5	3.458,0	3.528,1	4.120,4	3.579,8	3.838,4	3.658,7	3.257,5	3.037,0	4.646,5	3.717,0
	9,0	3.961,9	3.546,1	3.564,4	3.748,2	3.753,9	4.623,5	4.377,8	3.130,4	2.738,9	3.331,7	3.677,7
2,0	3,0	5.510,9	3.906,9	5.147,8	5.601,6	4.257,7	5.325,1	5.395,5	5.322,1	3.763,3	4.643,1	4.887,4
	6,0	4.188,2	4.521,6	4.869,4	3.517,0	2.434,7	3.206,7	3.130,3	4.361,6	3.299,6	4.059,9	3.758,9
	9,0	3.852,7	4.396,0	3.720,8	3.900,6	3.944,3	4.054,9	3.732,3	4.421,9	4.086,4	4.155,7	4.026,6
3,0	3,0	4.455,0	4.998,7	4.159,4	5.555,3	5.637,3	4.695,8	4.241,3	5.310,3	5.955,9	4.159,4	4.916,8
	6,0	4.796,9	5.563,6	5.152,1	4.967,4	4.472,5	6.540,6	6.574,0	5.152,1	5.300,2	3.896,8	5.241,6
	9,0	4.227,7	3.101,8	2.830,9	1.574,7	2.830,9	3.946,2	4.086,9	3.805,4	3.813,2	2.535,2	3.275,3

Tabel 4.4 Diameter *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 1,0 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Diameter Bubble (um)										Rata-Rata
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,0	3,0	4.760,9	3.202,3	4.774,1	5.484,2	5.001,2	4.349,2	5.377,7	5.484,2	4.979,2	5.660,9	4.907,4
	6,0	2.767,7	2.929,7	4.925,5	4.574,2	3.766,5	3.239,3	6.559,1	3.042,2	2.643,6	3.724,5	3.817,2
	9,0	3.110,1	2.116,5	4.244,7	2.678,7	2.409,9	2.534,2	3.671,3	2.956,6	3.555,9	3.522,5	3.080,0
2,0	3,0	6.018,5	5.996,7	4.725,9	3.637,2	6.367,4	4.540,8	5.633,5	4.061,4	5.166,1	5.451,9	5.159,9
	6,0	4.628,4	4.639,5	4.107,4	3.993,3	3.634,4	4.500,9	4.270,8	3.884,7	4.069,7	3.519,6	4.124,9
	9,0	4.094,4	4.320,1	4.995,4	5.306,4	4.804,6	5.007,2	4.932,2	6.410,5	3.105,4	5.536,3	4.851,3
3,0	3,0	4.550,3	4.957,4	5.436,2	6.144,5	5.676,7	5.362,2	6.023,3	6.196,7	5.608,6	5.478,4	5.543,4
	6,0	3.574,6	3.765,6	3.680,0	2.878,3	3.786,7	3.587,9	3.117,5	3.570,1	3.232,9	2.427,9	3.362,2
	9,0	5.610,0	4.240,2	5.378,8	3.537,5	4.270,3	4.638,5	3.477,8	4.880,4	3.965,3	5.639,3	4.563,8

Tabel 4.5 Lama Tinggal *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,4mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	<i>Bubble Frame</i>				Waktu Tinggal <i>Bubble</i> (s)			
						1	2	3	Rata-Rata
1,0	3,0	31	26	27	0,52	0,43	0,45	0,47	
	6,0	26	27	26	0,43	0,45	0,43	0,44	
	9,0	27	25		0,45	0,42	0,00	0,43	
2,0	3,0	28	26	27	0,47	0,43	0,45	0,45	
	6,0	30	27	25	0,50	0,45	0,42	0,46	
	9,0	25	29	24	0,42	0,48	0,40	0,43	
3,0	3,0	27	29	27	0,45	0,48	0,45	0,46	
	6,0	27	25	25	0,45	0,42	0,42	0,43	
	9,0	26	24	23	0,43	0,40	0,38	0,41	
Video Frame	60	FPS							

Tabel 4.6 Lama tinggal *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,6 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	<i>Bubble Frame</i>				Waktu Tinggal <i>Bubble</i> (s)			
						1	2	3	Rata-Rata
1,0	3,0	27	28	28	0,45	0,47	0,47	0,46	
	6,0	26	22	24	0,43	0,37	0,40	0,40	
	9,0	26	23	22	0,43	0,38	0,37	0,39	
2,0	3,0	28	29	29	0,47	0,48	0,48	0,48	
	6,0	27	25	24	0,45	0,42	0,40	0,42	
	9,0	24	23	23	0,40	0,38	0,38	0,39	
3,0	3,0	29	25	27	0,48	0,42	0,45	0,45	
	6,0	27	25	26	0,45	0,42	0,43	0,43	
	9,0	26	26	26	0,43	0,43	0,43	0,43	
Video Frame	60	FPS							

Tabel 4.7 Lama tinggal *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,8 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	<i>Bubble Frame</i>			Waktu Tinggal Bubble (s)			
					1	2	3	Rata-Rata
1,0	3,0	31	29	24	0,52	0,48	0,40	0,47
	6,0	26	24	24	0,43	0,40	0,40	0,41
	9,0	20	21	25	0,33	0,35	0,42	0,37
2,0	3,0	30	31	23	0,50	0,52	0,38	0,47
	6,0	25	25	24	0,42	0,42	0,40	0,41
	9,0	24	25	23	0,40	0,42	0,38	0,40
3,0	3,0	29	29	28	0,48	0,48	0,47	0,48
	6,0	27	28	25	0,45	0,47	0,42	0,44
	9,0	27	23	22	0,45	0,38	0,37	0,40
Video Frame	60	FPS						

Tabel 4.8 Lama tinggal *bubble* dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 1,0 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	<i>Bubble Frame</i>			Waktu Tinggal Bubble (s)			
					1	2	3	Rata-Rata
1,0	3,0	29	27	28	0,48	0,45	0,47	0,47
	6,0	27	23	24	0,45	0,38	0,40	0,41
	9,0	27	24	24	0,45	0,40	0,40	0,42
2,0	3,0	26	25	27	0,43	0,42	0,45	0,43
	6,0	27	27	24	0,45	0,45	0,40	0,43
	9,0	25	25	23	0,42	0,42	0,38	0,41
3,0	3,0	29	27	0	0,48	0,45	0,00	0,47
	6,0	28	25	25	0,47	0,42	0,42	0,43
	9,0	26	25	24	0,43	0,42	0,40	0,42
Video Frame	60	FPS						

Tabel 4.9 Konsentrasi oksigen terlarut dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,4 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Kadar Oksigen Terlarut (ppm)				
		Waktu Aerasi (menit)				
		0	5	10	15	Rata-Rata
1	3	4,48	5,83	5,58	5,66	5,69
	6	4,41	5,79	5,90	5,85	5,85
	9	4,16	5,90	6,06	6,01	5,99
2	3	4,80	5,66	5,31	5,40	5,45
	6	3,96	5,49	5,46	5,48	5,48
	9	3,86	5,46	5,49	5,57	5,51
3	3	4,43	5,89	5,29	5,40	5,53
	6	3,74	5,45	5,48	5,49	5,47
	9	4,02	5,47	5,52	5,54	5,51

Tabel 4.10 Konsentrasi oksigen terlarut dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,6 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Kadar Oksigen Terlarut (ppm)				
		Waktu Aerasi (menit)				
		0	5	10	15	Rata-Rata
1	3	4,45	5,86	5,87	6,03	5,92
	6	4,45	6,36	6,34	6,34	6,35
	9	4,22	6,23	6,30	6,28	6,27
2	3	4,45	5,35	5,06	5,05	5,15
	6	4,45	5,05	5,01	5,03	5,03
	9	4,67	5,10	5,16	5,11	5,12
3	3	4,14	5,11	5,16	5,06	5,11
	6	4,23	5,10	5,07	5,04	5,07
	9	3,43	5,07	5,10	5,17	5,11

Tabel 4.11 Konsentrasi oksigen terlarut dengan variasi diameter nosel *microbubble generation 0,8 mm*

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Kadar Oksigen Terlarut (ppm)				
		Waktu Aerasi (menit)				
		0	5	10	15	Rata-Rata
1	3	4,46	6,22	6,42	6,41	6,35
	6	4,48	6,38	6,18	6,17	6,24
	9	4,08	6,39	6,26	6,30	6,31
2	3	4,08	5,80	6,39	6,40	6,20
	6	4,47	6,32	6,34	6,42	6,36
	9	4,46	6,33	6,34	6,27	6,31
3	3	3,81	5,99	5,92	5,85	5,92
	6	4,14	5,78	5,78	5,67	5,74
	9	4,19	5,70	5,62	5,61	5,64

Tabel 4.12 Konsentrasi oksigen terlarut dengan variasi diameter nosel *microbubble generation 1,0 mm*

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Kadar Oksigen Terlarut (ppm)				
		Waktu Aerasi (menit)				
		0	5	10	15	Rata-Rata
1	3	4,45	5,83	6,10	5,95	5,96
	6	3,81	5,82	5,78	5,72	5,77
	9	4,24	5,72	5,70	5,64	5,69
2	3	3,81	5,31	5,47	4,38	5,05
	6	4,43	5,31	5,37	5,45	5,38
	9	3,99	5,47	5,52	5,56	5,51
3	3	3,42	5,51	5,49	5,42	5,47
	6	3,81	5,31	5,39	5,44	5,38
	9	3,99	5,48	5,49	5,56	5,51

Tabel 4.13 Koefisien transfer oksigen volumetrik dengan variasi diameter nosel *microbubble generation 0,4 mm*

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik (kLa/s)			
		Waktu Aerasi (menit)			
		5	10	15	Rata-Rata
1	3	0,130	0,048	0,035	0,071
	6	0,131	0,074	0,047	0,084
	9	0,175	0,103	0,065	0,114
2	3	0,076	0,020	0,016	0,037
	6	0,127	0,061	0,042	0,077

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik (kLa/s)			
		Waktu Aerasi (menit)			
		5	10	15	Rata-Rata
2	9	0,131	0,068	0,049	0,083
3	3	0,145	0,033	0,026	0,068
	6	0,140	0,072	0,048	0,087
	9	0,119	0,063	0,043	0,075

Tabel 4.14 Koefisien transfer oksigen volumetrik dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,6 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik (kLa/s)			
		Waktu Aerasi (menit)			
		5	10	15	Rata-Rata
1	3	0,138	0,070	0,056	0,088
	6	0,249	0,121	0,081	0,150
	9	0,241	0,130	0,085	0,152
2	3	0,070	0,021	0,014	0,035
	6	0,042	0,019	0,014	0,025
	9	0,031	0,018	0,011	0,020
3	3	0,069	0,037	0,022	0,043
	6	0,062	0,029	0,019	0,037
	9	0,116	0,060	0,043	0,073

Tabel 4.15 Koefisien transfer oksigen volumetrik dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 0,8 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik (kLa/s)			
		Waktu Aerasi (menit)			
		5	10	15	Rata-Rata
1	3	0,211	0,133	0,087	0,143
	6	0,251	0,098	0,065	0,138
	9	0,304	0,133	0,092	0,177
2	3	0,164	0,152	0,103	0,140
	6	0,235	0,119	0,088	0,148
	9	0,238	0,120	0,074	0,144
3	3	0,228	0,107	0,066	0,134
	6	0,155	0,077	0,046	0,093
	9	0,137	0,062	0,041	0,080

Tabel 4.16 Koefisien transfer oksigen volumetrik dengan variasi diameter nosel *microbubble generation* 1,0 mm

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik (kLa/s)			
		Waktu Aerasi (menit)			
		5	10	15	Rata-Rata
1	3	0,134	0,092	0,052	0,092
	6	0,193	0,093	0,059	0,115
	9	0,136	0,066	0,041	0,081
2	3	0,116	0,068	0,011	0,065
	6	0,068	0,037	0,028	0,044
	9	0,121	0,065	0,045	0,077
3	3	0,174	0,086	0,054	0,105
	6	0,115	0,063	0,044	0,074
	9	0,123	0,063	0,045	0,077

Tabel 4.17 Kebutuhan daya spesifik *microbubble generation*

Jarak Antara Nosel (mm)	Debit Udara (l/min)	Kebutuhan Daya Spesifik (watt)			
		Waktu Aerasi (menit)			
		5	10	15	Rata-Rata
1	3	0,001	0,002	0,003	0,002
	6	0,004	0,007	0,011	0,007
	9	0,008	0,016	0,024	0,016
2	3	0,001	0,002	0,003	0,002
	6	0,004	0,007	0,011	0,007
	9	0,008	0,016	0,024	0,016
3	3	0,001	0,002	0,003	0,002
	6	0,004	0,007	0,011	0,007
	9	0,008	0,016	0,024	0,016



## Lampiran B Tabel Analisis Anova dan Regresi

Tabel 4.18 Analisis anova

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
1	2	7	3,5	12,5
1	2	10	5	32
1	2	5	2,5	0,5
1	2	8	4	8
1	2	11	5,5	24,5
1	2	6	3	0
1	2	9	4,5	4,5
1	2	12	6	18
0,8	2	4	2	2
0,8	2	7	3,5	12,5
0,8	2	10	5	32
0,8	2	5	2,5	0,5
0,8	2	8	4	8
0,8	2	11	5,5	24,5
0,8	2	6	3	0
0,8	2	9	4,5	4,5
0,8	2	12	6	18
0,6	2	4	2	2
0,6	2	7	3,5	12,5
0,6	2	10	5	32
0,6	2	5	2,5	0,5

SUMMARY	Count	Sum	Average	Variance
0,6	2	8	4	8
0,6	2	11	5,5	24,5
0,6	2	6	3	0
0,6	2	9	4,5	4,5
0,6	2	12	6	18
0,4	2	4	2	2
0,4	2	7	3,5	12,5
0,4	2	10	5	32
0,4	2	5	2,5	0,5
0,4	2	8	4	8
0,4	2	11	5,5	24,5
0,4	2	6	3	0
0,4	2	9	4,5	4,5
0,4	2	12	6	18
1	35	71	2,028571	0,67563
3	35	213	6,085714	6,080672

## ANOVA

<i>Source of Variation</i>		<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows		111,7714	34	3,287395	0,947674	0,561799	1,772066
Columns		288,0571	1	288,0571	83,03973	1,19E-10	4,130018
Error		117,9429	34	3,468908			
Total		517,7714	69				
F crit	F1/F2 =	2,33062					
F	F1/F2 =	87,6247					

$$\begin{aligned} \Sigma Y &= an + b_1 \Sigma X_1 + b_2 \Sigma X_2 \\ \Sigma X_1 Y &= a \Sigma X_1 + b_1 \Sigma X_1^2 + b_2 \Sigma X_1 X_2 \\ \Sigma X_2 Y &= a \Sigma X_2 + b_1 \Sigma X_1 X_2 + b_2 \Sigma X_2^2 \end{aligned}$$

Tabel 4.19 Analisis regresi diameter *bubble*

No	Diameter Nosel	Jarak Nosel	Debit Udara	Diameter Bubble	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
		X1	X2	Y						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1.	1,0	1	3	4.907,39	1,00	9,00	3,00	4.907,39	14.722,17	24.082.476,61
2.	1,0	1	6	3.817,23	1,00	36,00	6,00	3.817,23	22.903,38	14.571.244,87
3.	1,0	1	9	3.080,04	1,00	81,00	9,00	3.080,04	27.720,36	9.486.646,40
4.	1,0	2	3	5.159,94	4,00	9,00	6,00	10.319,88	15.479,82	26.624.980,80
5.	1,0	2	6	4.124,87	4,00	36,00	12,00	8.249,74	24.749,22	17.014.552,52
6.	1,0	2	9	4.851,25	4,00	81,00	18,00	9.702,50	43.661,25	23.534.626,56
7.	1,0	3	3	5.543,43	9,00	9,00	9,00	16.630,29	16.630,29	30.729.616,16
8.	1,0	3	6	3.362,15	9,00	36,00	18,00	10.086,45	20.172,90	11.304.052,62
9.	1,0	3	9	4.563,81	9,00	81,00	27,00	13.691,43	41.074,29	20.828.361,72
10.	0,8	1	3	4.208,40	1,00	9,00	3,00	4.208,40	12.625,20	17.710.630,56
11.	0,8	1	6	3.716,99	1,00	36,00	6,00	3.716,99	22.301,94	13.816.014,66
12.	0,8	1	9	3.677,68	1,00	81,00	9,00	3.677,68	33.099,12	13.525.330,18

No	Diameter Nosel	Jarak Nosel		Debit Udara	Diameter Bubble	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
		X1	X2								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
13.	0,8	2	3	4.887,40	4,00	9,00	6,00	9.774,80	14.662,20	23.886.678,76	
14.	0,8	2	6	3.758,90	4,00	36,00	12,00	7.517,80	22.553,40	14.129.329,21	
15.	0,8	2	9	4.026,56	4,00	81,00	18,00	8.053,12	36.239,04	16.213.185,43	
16.	0,8	3	3	4.916,84	9,00	9,00	9,00	14.750,52	14.750,52	24.175.315,59	
17.	0,8	3	6	5.241,62	9,00	36,00	18,00	15.724,86	31.449,72	27.474.580,22	
18.	0,8	3	9	3.275,29	9,00	81,00	27,00	9.825,87	29.477,61	10.727.524,58	
19.	0,6	1	3	5.117,49	1,00	9,00	3,00	5.117,49	15.352,47	26.188.703,90	
20.	0,6	1	6	3.499,15	1,00	36,00	6,00	3.499,15	20.994,90	12.244.050,72	
21.	0,6	1	9	3.855,51	1,00	81,00	9,00	3.855,51	34.699,59	14.864.957,36	
22.	0,6	2	3	3.781,64	4,00	9,00	6,00	7.563,28	11.344,92	14.300.801,09	
23.	0,6	2	6	3.867,54	4,00	36,00	12,00	7.735,08	23.205,24	14.957.865,65	
24.	0,6	2	9	3.979,84	4,00	81,00	18,00	7.959,68	35.818,56	15.839.126,43	
25.	0,6	3	3	4.195,87	9,00	9,00	9,00	12.587,61	12.587,61	17.605.325,06	
26.	0,6	3	6	3.986,17	9,00	36,00	18,00	11.958,51	23.917,02	15.889.551,27	
27.	0,6	3	9	3.954,59	9,00	81,00	27,00	11.863,77	35.591,31	15.638.782,07	
28.	0,4	1	3	3.606,15	1,00	9,00	3,00	3.606,15	10.818,45	13.004.317,82	
29.	0,4	1	6	4.070,53	1,00	36,00	6,00	4.070,53	24.423,18	16.569.214,48	
30.	0,4	1	9	2.952,02	1,00	81,00	9,00	2.952,02	26.568,18	8.714.422,08	
31.	0,4	2	3	3.608,27	4,00	9,00	6,00	7.216,54	10.824,81	13.019.612,39	
32.	0,4	2	6	3.891,20	4,00	36,00	12,00	7.782,40	23.347,20	15.141.437,44	
33.	0,4	2	9	4.379,96	4,00	81,00	18,00	8.759,92	39.419,64	19.184.049,60	

No	Diameter Nosel	Jarak Nosel	Debit Udara	Diameter Bubble	X1^2	X2^2	X1 X2	X1 y	X2 y	Y^2
					X1	X2	Y	(6)	(7)	(8)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
34.	0,4	3	3	4.140,38	9,00	9,00	9,00	12.421,14	12.421,14	17.142.746,54
35.	0,4	3	6	3.742,70	9,00	36,00	18,00	11.228,10	22.456,20	14.007.803,29
36.	0,4	3	9	3.741,29	9,00	81,00	27,00	11.223,87	33.671,61	13.997.250,86
Total		72,00	216,00	147.490,09	168,00	1.512,00	432,00	299.135,74	861.734,46	618.145.165,53
Langkah 1										
147.490,09	=	36	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	Persamaan 1
299.135,74	=	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2	Persamaan 2
861.734,46	=	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2	Persamaan 3
Langkah 2      Persamaan 1 dan Persamaan 2										
147.490,09	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
299.135,74	=	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2	
10619286,48	=	2.592	a	+	5.184	b1	+	15.552	b2	
10768886,64	=	2.592	a	+	6.048	b1	+	15.552	b2	
-149600,16	=	0	a	+	-864	b1	+	0	b2	<b>Persamaan 4</b>
b1	=	173,15								
Langkah 3      Persamaan 1 dan Persamaan 3										
147.490,09	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
861.734,46	=	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2	

	31857859,44	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	46.656	b2	
	31022440,56	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	54.432	b2	
	835418,88	=	0	a	+	0	b1	+	-7776	b2	<b>Persamaan 5</b>
	b2	=	-107,44								
Langkah 4      Persamaan 1											
	147.490,09	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
	Langkah 4	=	36,00	a	+	12.466,68		+	-23.206,08		
	147.490,09	=	36,00	a	+	-10.739,40					
	158.229,49	=	36,00	a							
	a	=	4395,264								
Langkah 5      Persamaan Akhir											
	Y	=	a	+	b1	X1	+	b2	X2		
	Y	=	4.395	+	173,15	X1	+	-107,44	X2		

Tabel 4.20 Analisis regresi lama tinggal *bubble*

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle		Debit Udara		Lama Tinggal Bubble		X1 X2	X1 y	X2 y	Y^2
		X1	X2	X1	X2	X1^2	X2^2				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
1.	1,0	1	3	0,47	1,00	9,00	3,00	0,47	1,41	0,22	
2.	1,0	1	6	0,41	1,00	36,00	6,00	0,41	2,46	0,17	
3.	1,0	1	9	0,42	1,00	81,00	9,00	0,42	3,78	0,18	
4.	1,0	2	3	0,43	4,00	9,00	6,00	0,86	1,29	0,18	

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Debit Udara	Lama	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
				Tinggal Bubble						
		X1	X2	Y						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
5.	1,0	2	6	0,43	4,00	36,00	12,00	0,86	2,58	0,18
6.	1,0	2	9	0,41	4,00	81,00	18,00	0,82	3,69	0,17
7.	1,0	3	3	0,47	9,00	9,00	9,00	1,41	1,41	0,22
8.	1,0	3	6	0,43	9,00	36,00	18,00	1,29	2,58	0,18
9.	1,0	3	9	0,42	9,00	81,00	27,00	1,26	3,78	0,18
10.	0,8	1	3	0,47	1,00	9,00	3,00	0,47	1,41	0,22
11.	0,8	1	6	0,41	1,00	36,00	6,00	0,41	2,46	0,17
12.	0,8	1	9	0,37	1,00	81,00	9,00	0,37	3,33	0,14
13.	0,8	2	3	0,47	4,00	9,00	6,00	0,94	1,41	0,22
14.	0,8	2	6	0,44	4,00	36,00	12,00	0,88	2,64	0,19
15.	0,8	2	9	0,40	4,00	81,00	18,00	0,80	3,60	0,16
16.	0,8	3	3	0,48	9,00	9,00	9,00	1,44	1,44	0,23
17.	0,8	3	6	0,44	9,00	36,00	18,00	1,32	2,64	0,19
18.	0,8	3	9	0,40	9,00	81,00	27,00	1,20	3,60	0,16
19.	0,6	1	3	0,46	1,00	9,00	3,00	0,46	1,38	0,21
20.	0,6	1	6	0,40	1,00	36,00	6,00	0,40	2,40	0,16
21.	0,6	1	9	0,38	1,00	81,00	9,00	0,38	3,42	0,14
22.	0,6	2	3	0,48	4,00	9,00	6,00	0,96	1,44	0,23
23.	0,6	2	6	0,42	4,00	36,00	12,00	0,84	2,52	0,18
24.	0,6	2	9	0,39	4,00	81,00	18,00	0,78	3,51	0,15



No	Diameter Nozle	Jarak		Debit		Lama		X1 X2	X1 y	X2 y	Y^2
		Nozle	Udara	Udara	Udara	Tinggal	Tinggal				
		X1	X2	X1	X2	Y	Y				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
25.	0,6	3	3	0,45	9,00	9,00	9,00	1,35	1,35	0,20	
26.	0,6	3	6	0,43	9,00	36,00	18,00	1,29	2,58	0,18	
27.	0,6	3	9	0,43	9,00	81,00	27,00	1,29	3,87	0,18	
28.	0,4	1	3	0,47	1,00	9,00	3,00	0,47	1,41	0,22	
29.	0,4	1	6	0,44	1,00	36,00	6,00	0,44	2,64	0,19	
30.	0,4	1	9	0,43	1,00	81,00	9,00	0,43	3,87	0,18	
31.	0,4	2	3	0,45	4,00	9,00	6,00	0,90	1,35	0,20	
32.	0,4	2	6	0,46	4,00	36,00	12,00	0,92	2,76	0,21	
33.	0,4	2	9	0,43	4,00	81,00	18,00	0,86	3,87	0,18	
34.	0,4	3	3	0,46	9,00	9,00	9,00	1,38	1,38	0,21	
35.	0,4	3	6	0,43	9,00	36,00	18,00	1,29	2,58	0,18	
36.	0,4	3	9	0,41	9,00	81,00	27,00	1,23	3,69	0,17	
<b>Total</b>		<b>72,00</b>	<b>216,00</b>	<b>15,59</b>	<b>168,00</b>	<b>1.512,00</b>	<b>432,00</b>	<b>31,30</b>	<b>91,53</b>	<b>6,78</b>	

Langkah 1

15,59 =	36	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	<b>Persamaan 1</b>
31,30 =	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2	<b>Persamaan 2</b>
91,53 =	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2	<b>Persamaan 3</b>

Langkah 2      Persamaan 1 dan Persamaan 2

15,59	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2
31,30	=	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2
1.122,48	=	2.592	a	+	5.184	b1	+	15.552	b2
1.126,80	=	2.592	a	+	6.048	b1	+	15.552	b2
-4,32	=	0	a	+	-864	b1	+	0	b2
b1	=	0,005							

**Persamaan 4**

Langkah 3      Persamaan 1 dan Persamaan 3

15,59	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2
91,53	=	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2
3.367,44	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	46.656	b2
3.295,08	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	54.432	b2
72,36	=	0	a	+	0	b1	+	-7776	b2
b2	=	-0,009							

**Persamaan 5**

Langkah 4      Persamaan 1

15,59	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00
15,59	=	36,00	a	+	0,36		+	-2,01
15,59	=	36,00	a	+	-1,65			
17,24	=	36,00	a					
a	=	0,479						

Langkah 5      Persamaan Akhir

Y	=	a	+	b1	X1	+	b2	X2
Y	=	0,479	+	0,005	X1	+	-0,009	X2

Tabel 4.21 Analisis regresi kadar oksigen terlarut

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Debit Udara	Kadar Oksigen Terlarut	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
		X1	X2	Y						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1.	1,0	1	3	5,96	1,00	9,00	3,00	5,96	17,88	35,52
2.	1,0	1	6	5,77	1,00	36,00	6,00	5,77	34,62	33,29
3.	1,0	1	9	5,69	1,00	81,00	9,00	5,69	51,21	32,38
4.	1,0	2	3	5,05	4,00	9,00	6,00	10,10	15,15	25,50
5.	1,0	2	6	5,38	4,00	36,00	12,00	10,76	32,28	28,94
6.	1,0	2	9	5,51	4,00	81,00	18,00	11,02	49,59	30,36
7.	1,0	3	3	5,47	9,00	9,00	9,00	16,41	16,41	29,92
8.	1,0	3	6	5,38	9,00	36,00	18,00	16,14	32,28	28,94
9.	1,0	3	9	5,51	9,00	81,00	27,00	16,53	49,59	30,36
10.	0,8	1	3	6,35	1,00	9,00	3,00	6,35	19,05	40,32
11.	0,8	1	6	6,24	1,00	36,00	6,00	6,24	37,44	38,94
12.	0,8	1	9	6,31	1,00	81,00	9,00	6,31	56,79	39,82
13.	0,8	2	3	6,20	4,00	9,00	6,00	12,40	18,60	38,44
14.	0,8	2	6	6,36	4,00	36,00	12,00	12,72	38,16	40,45
15.	0,8	2	9	6,31	4,00	81,00	18,00	12,62	56,79	39,82
16.	0,8	3	3	5,92	9,00	9,00	9,00	17,76	17,76	35,05
17.	0,8	3	6	5,74	9,00	36,00	18,00	17,22	34,44	32,95
18.	0,8	3	9	5,64	9,00	81,00	27,00	16,92	50,76	31,81
19.	0,6	1	3	5,92	1,00	9,00	3,00	5,92	17,76	35,05

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Debit Udara	Kadar Oksigen Terlarut	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
20.	0,6	1	6	6,35	1,00	36,00	6,00	6,35	38,10	40,32
21.	0,6	1	9	6,27	1,00	81,00	9,00	6,27	56,43	39,31
22.	0,6	2	3	5,15	4,00	9,00	6,00	10,30	15,45	26,52
23.	0,6	2	6	5,03	4,00	36,00	12,00	10,06	30,18	25,30
24.	0,6	2	9	5,12	4,00	81,00	18,00	10,24	46,08	26,21
25.	0,6	3	3	5,11	9,00	9,00	9,00	15,33	15,33	26,11
26.	0,6	3	6	5,07	9,00	36,00	18,00	15,21	30,42	25,70
27.	0,6	3	9	5,11	9,00	81,00	27,00	15,33	45,99	26,11
28.	0,4	1	3	5,69	1,00	9,00	3,00	5,69	17,07	32,38
29.	0,4	1	6	5,85	1,00	36,00	6,00	5,85	35,10	34,22
30.	0,4	1	9	5,99	1,00	81,00	9,00	5,99	53,91	35,88
31.	0,4	2	3	5,45	4,00	9,00	6,00	10,90	16,35	29,70
32.	0,4	2	6	5,48	4,00	36,00	12,00	10,96	32,88	30,03
33.	0,4	2	9	5,51	4,00	81,00	18,00	11,02	49,59	30,36
34.	0,4	3	3	5,53	9,00	9,00	9,00	16,59	16,59	30,58
35.	0,4	3	6	5,47	9,00	36,00	18,00	16,41	32,82	29,92
36.	0,4	3	9	5,51	9,00	81,00	27,00	16,53	49,59	30,36
Total		72,00	216,00	204,40	168,00	1.512,00	432,00	401,87	1.228,44	1.166,89

Langkah 1

204,40	=	36	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	<b>Persamaan 1</b>
401,87	=	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2	<b>Persamaan 2</b>
1.228,44	=	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2	<b>Persamaan 3</b>

Langkah 2      Persamaan 1 dan Persamaan 2

204,40	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
401,87	=	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2	
14716,8	=	2.592	a	+	5.184	b1	+	15.552	b2	
14467,32	=	2.592	a	+	6.048	b1	+	15.552	b2	
249,48	=	0	a	+	-864	b1	+	0	b2	<b>Persamaan 4</b>
b1	=	-0,289								

Langkah 3      Persamaan 1 dan Persamaan 3

204,40	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
1.228,44	=	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2	
44.150,40	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	46.656	b2	
44.223,84	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	54.432	b2	
-73,44	=	0	a	+	0	b1	+	-7776	b2	<b>Persamaan 5</b>
b2	=	0,009								

Langkah 4      Persamaan 1

204,40	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
204,40	=	36,00	a	+	-20,79		+	0,01		
204,40	=	36,00	a	+	-20,78					
225,18	=	36,00	a							

$$a = 6,26$$

Langkah 5 Persamaan Akhir

$$Y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

$$Y = 6,26 + (-0,289) x_1 + 0,009 x_2$$

Tabel 4.22 Analisis regresi koefisien transfer oksigen volumetrik

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Debit Udara	Konsentrasi Oksigen Terlarut	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
		X1	X2	Y						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1.	1,0	1	3	5,02	1,00	9,00	3,00	5,02	15,06	25,20
2.	1,0	1	6	5,02	1,00	36,00	6,00	5,02	30,12	25,20
3.	1,0	1	9	5,02	1,00	81,00	9,00	5,02	45,21	25,23
4.	1,0	2	3	4,75	4,00	9,00	6,00	9,49	14,24	22,53
5.	1,0	2	6	4,85	4,00	36,00	12,00	9,69	29,08	23,49
6.	1,0	2	9	4,92	4,00	81,00	18,00	9,85	44,31	24,24
7.	1,0	3	3	4,85	9,00	9,00	9,00	14,56	14,56	23,55
8.	1,0	3	6	4,99	9,00	36,00	18,00	14,97	29,94	24,90
9.	1,0	3	9	5,01	9,00	81,00	27,00	15,04	45,12	25,13
10.	0,8	1	3	4,62	1,00	9,00	3,00	4,62	13,87	21,38
11.	0,8	1	6	4,75	1,00	36,00	6,00	4,75	28,50	22,56
12.	0,8	1	9	4,97	1,00	81,00	9,00	4,97	44,76	24,73
13.	0,8	2	3	4,91	4,00	9,00	6,00	9,81	14,72	24,08
14.	0,8	2	6	5,03	4,00	36,00	12,00	10,06	30,18	25,30

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Konsentrasi			X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
			Debit Udara	Oksigen Terlarut	Y						
(1)	(2)	X1 (3)	X2 (4)	Y (5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
15.	0,8	2	9	5,13	4,00	81,00	18,00	10,25	46,14	26,28	
16.	0,8	3	3	4,93	9,00	9,00	9,00	14,79	14,79	24,30	
17.	0,8	3	6	5,04	9,00	36,00	18,00	15,11	30,22	25,37	
18.	0,8	3	9	5,19	9,00	81,00	27,00	15,58	46,74	26,97	
19.	0,6	1	3	4,25	1,00	9,00	3,00	4,25	12,75	18,06	
20.	0,6	1	6	4,50	1,00	36,00	6,00	4,50	27,00	20,25	
21.	0,6	1	9	4,97	1,00	81,00	9,00	4,97	44,73	24,70	
22.	0,6	2	3	4,64	4,00	9,00	6,00	9,29	13,93	21,56	
23.	0,6	2	6	4,80	4,00	36,00	12,00	9,60	28,80	23,04	
24.	0,6	2	9	5,05	4,00	81,00	18,00	10,10	45,45	25,50	
25.	0,6	3	3	4,54	9,00	9,00	9,00	13,63	13,63	20,64	
26.	0,6	3	6	4,72	9,00	36,00	18,00	14,17	28,34	22,31	
27.	0,6	3	9	4,71	9,00	81,00	27,00	14,14	42,42	22,22	
28.	0,4	1	3	4,25	1,00	9,00	3,00	4,25	12,74	18,03	
29.	0,4	1	6	4,32	1,00	36,00	6,00	4,32	25,92	18,66	
30.	0,4	1	9	4,32	1,00	81,00	9,00	4,32	38,91	18,69	
31.	0,4	2	3	4,37	4,00	9,00	6,00	8,73	13,10	19,07	
32.	0,4	2	6	4,44	4,00	36,00	12,00	8,88	26,64	19,71	
33.	0,4	2	9	4,53	4,00	81,00	18,00	9,07	40,80	20,55	
34.	0,4	3	3	4,47	9,00	9,00	9,00	13,41	13,41	19,98	

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Konsentrasi		X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
			Debit Udara	Oksigen Terlarut						
		X1	X2	Y						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
35.	0,4	3	6	4,53	9,00	36,00	18,00	13,59	27,18	20,52
36.	0,4	3	9	4,59	9,00	81,00	27,00	13,76	41,28	21,04
Total		72,00	216,00	171,02	168,00	1.512,00	432,00	343,60	1.034,59	815,00

Langkah 1

$$\begin{array}{rcl}
 171,02 = & 36a & + \\
 343,60 = & 72,00a & + \\
 1.034,59 = & 216,00a & +
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \\
 \\
 \\
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 + \\
 + \\
 +
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 72,00b1 \\
 168,00b1 \\
 432,00b1
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 + \\
 + \\
 +
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 216,00b2 \\
 432,00b2 \\
 1.512,00b2
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \text{Persamaan 1} \\
 \text{Persamaan 2} \\
 \text{Persamaan 3}
 \end{array}$$

Langkah 2      Persamaan 1 dan Persamaan 2

$$\begin{array}{rcl}
 171,02 = & 36,00a & + \\
 343,60 = & 72,00a & + \\
 \hline
 12313,2 = & 2.592a & + \\
 12369,48 = & 2.592a & + \\
 \hline
 -56,28 = & 0a & +
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \\
 \\
 \\
 \\
 \\
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 + \\
 + \\
 + \\
 + \\
 + \\
 +
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 72,00b1 \\
 168,00b1 \\
 5.184b1 \\
 6.048b1 \\
 -864b1
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 + \\
 + \\
 + \\
 + \\
 +
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 216,00b2 \\
 432,00b2 \\
 15.552b2 \\
 15.552b2 \\
 0b2
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 \\
 \\
 \\
 \\
 \text{Persamaan 4}
 \end{array}$$

b1

$$= 0,065$$

Langkah 3      Persamaan 1 dan Persamaan 3

$$171,02 = 36,00a + 72,00b1 + 216,00b2$$



	1.034,59 =	216,00 a	+	432,00 b1	+	1.512,00 b2	
	36.939,60 =	7.776 a	+	15.552 b1	+	46.656 b2	
	37.245,24 =	7.776 a	+	15.552 b1	+	54.432 b2	
	-305,64 =	0 a	+	0 b1	+	-7776 b2	<b>Persamaan 5</b>
b2	=	0,039					

Langkah 4 Persamaan 1

	171,02 =	36,00 a	+	72,00 b1	+	216,00 b2	
	171,02 =	36,00 a	+	4,69	+	0,04	
	171,02 =	36,00 a	+	4,73			
	166,29 =	36,00 a					
a	=	4,62					

Langkah 5 Persamaan Akhir

Y	=	a	+	b1	x1	+	b2	x2
Y	=	4,62 +		0,065 x1		+	0,039 x2	

Tabel 4.23 Analisis Regresi kebutuhan daya spesifik *microbubble generation*

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Debit Udara	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
					X1	X2	Y			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1.	1,0	1	3	0,092	1,00	9,00	3,00	0,09	0,28	0,00846400
2.	1,0	1	6	0,115	1,00	36,00	6,00	0,12	0,69	0,01322500
3.	1,0	1	9	0,081	1,00	81,00	9,00	0,08	0,73	0,00656100
4.	1,0	2	3	0,065	4,00	9,00	6,00	0,13	0,20	0,00422500
5.	1,0	2	6	0,044	4,00	36,00	12,00	0,09	0,26	0,00193600
6.	1,0	2	9	0,077	4,00	81,00	18,00	0,15	0,69	0,00592900
7.	1,0	3	3	0,105	9,00	9,00	9,00	0,32	0,32	0,01102500
8.	1,0	3	6	0,074	9,00	36,00	18,00	0,22	0,44	0,00547600
9.	1,0	3	9	0,077	9,00	81,00	27,00	0,23	0,69	0,00592900
10.	0,8	1	3	0,143	1,00	9,00	3,00	0,14	0,43	0,02044900
11.	0,8	1	6	0,138	1,00	36,00	6,00	0,14	0,83	0,01904400
12.	0,8	1	9	0,177	1,00	81,00	9,00	0,18	1,59	0,03132900
13.	0,8	2	3	0,140	4,00	9,00	6,00	0,28	0,42	0,01960000
14.	0,8	2	6	0,148	4,00	36,00	12,00	0,30	0,89	0,02190400
15.	0,8	2	9	0,144	4,00	81,00	18,00	0,29	1,30	0,02073600
16.	0,8	3	3	0,013	9,00	9,00	9,00	0,04	0,04	0,00017956
17.	0,8	3	6	0,093	9,00	36,00	18,00	0,28	0,56	0,00864900
18.	0,8	3	9	0,080	9,00	81,00	27,00	0,24	0,72	0,00640000
19.	0,6	1	3	0,088	1,00	9,00	3,00	0,09	0,26	0,00774400

No	Diameter Nozle	Jarak Nozle	Debit Udara	Koefisien Transfer Oksigen Volumetrik	X1 <sup>2</sup>	X2 <sup>2</sup>	X1 X2	X1 y	X2 y	Y <sup>2</sup>
					X1	X2	Y			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
20.	0,6	1	6	0,150	1,00	36,00	6,00	0,15	0,90	0,02250000
21.	0,6	1	9	0,152	1,00	81,00	9,00	0,15	1,37	0,02310400
22.	0,6	2	3	0,035	4,00	9,00	6,00	0,07	0,11	0,00122500
23.	0,6	2	6	0,025	4,00	36,00	12,00	0,05	0,15	0,00062500
24.	0,6	2	9	0,020	4,00	81,00	18,00	0,04	0,18	0,00040000
25.	0,6	3	3	0,043	9,00	9,00	9,00	0,13	0,13	0,00184900
26.	0,6	3	6	0,037	9,00	36,00	18,00	0,11	0,22	0,00136900
27.	0,6	3	9	0,073	9,00	81,00	27,00	0,22	0,66	0,00532900
28.	0,4	1	3	0,071	1,00	9,00	3,00	0,07	0,21	0,00504100
29.	0,4	1	6	0,084	1,00	36,00	6,00	0,08	0,50	0,00705600
30.	0,4	1	9	0,114	1,00	81,00	9,00	0,11	1,03	0,01299600
31.	0,4	2	3	0,037	4,00	9,00	6,00	0,07	0,11	0,00136900
32.	0,4	2	6	0,077	4,00	36,00	12,00	0,15	0,46	0,00592900
33.	0,4	2	9	0,083	4,00	81,00	18,00	0,17	0,75	0,00688900
34.	0,4	3	3	0,068	9,00	9,00	9,00	0,20	0,20	0,00462400
35.	0,4	3	6	0,087	9,00	36,00	18,00	0,26	0,52	0,00756900
36.	0,4	3	9	0,075	9,00	81,00	27,00	0,23	0,68	0,00562500
Total		72,00	216,00	3,13	168,00	1.512,00	432,00	5,67	19,51	0,33

## Langkah 1

3,13	=	36	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	<b>Persamaan 1</b>
5,67	=	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2	<b>Persamaan 2</b>
19,51	=	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2	<b>Persamaan 3</b>

## Langkah 2 Persamaan 1 dan Persamaan 2

3,13	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
5,67	=	72,00	a	+	168,00	b1	+	432,00	b2	
225,0288	=	2.592	a	+	5.184	b1	+	15.552	b2	
204,1632	=	2.592	a	+	6.048	b1	+	15.552	b2	
20,8656	=	0	a	+	-864	b1	+	0	b2	<b>Persamaan 4</b>
b1	=	-0,0242								

## Langkah 3 Persamaan 1 dan Persamaan 3

3,13	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
19,51	=	216,00	a	+	432,00	b1	+	1.512,00	b2	
675,0864	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	46.656	b2	
702,3672	=	7.776	a	+	15.552	b1	+	54.432	b2	
-27,2808	=	0	a	+	0	b1	+	-7776	b2	<b>Persamaan 5</b>
b2	=	0,0035								

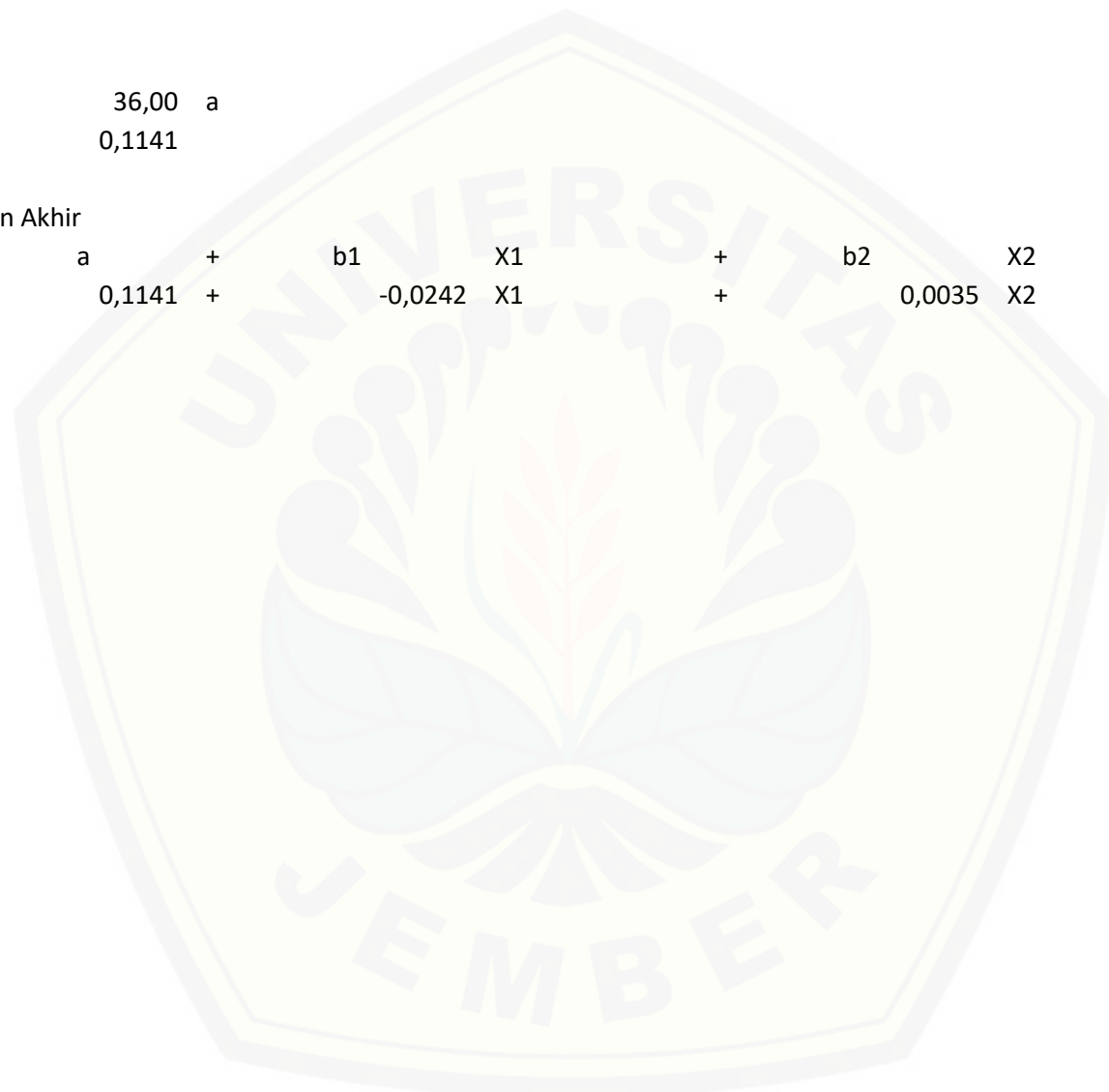
## Langkah 4 Persamaan 1

3,13	=	36,00	a	+	72,00	b1	+	216,00	b2	
3,13	=	36,00	a	+	-1,74		+	0,76		
3,13	=	36,00	a	+	-0,98					

$$\begin{aligned} 4,11 &= 36,00 a \\ a &= 0,1141 \end{aligned}$$

Langkah 5 Persamaan Akhir

$$\begin{aligned} Y &= a + b1 X1 + b2 X2 \\ Y &= 0,1141 + -0,0242 X1 + 0,0035 X2 \end{aligned}$$



**Lampiran C Gambar Penelitian**



Gambar 4.1 Kolam aerasi



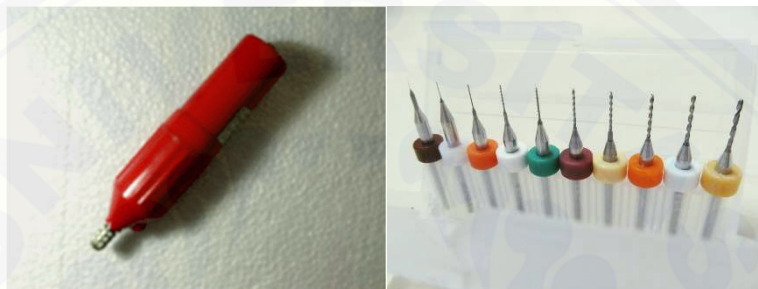
Gambar 4.2 Kamera



Gambar 4.3 *Valve*



Gambar 4.4 *Stopwatch*



Gambar 4.5 Bor dan Mata bor (Sumber: Tokopedia)



Gambar 4.6 Kompresor



Gambar 4.7 *Flowmeter* udara



Gambar 4.8 DO meter



Gambar 4.9 Gunting





Gambar 4.10 Komputer



Gambar 4.11 Adaptor



Gambar 4.12 Jirigen



Gambar 4.13 Penggaris



Gambar 4.14 Kotak *microbubble generation*



Gambar 4.15 Selang ¼"



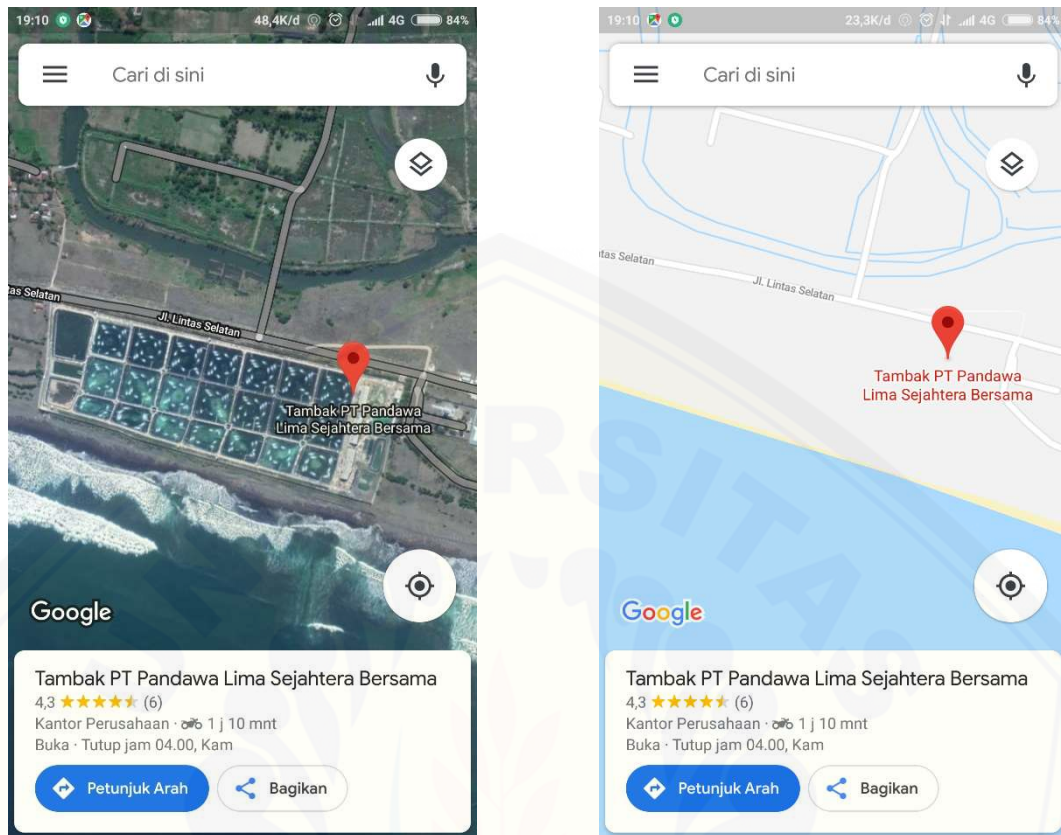
Gambar 4.15 Proses pembuatan *microbubble generation*



Gambar 4.16 Proses pengambilan gambar diameter *bubble*



Gambar 4.17 Proses aerasi



Gambar 4.18 Peta Lokasi Penelitian  
(Sumber : Google Maps)