

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Microbubble*

Microbubble adalah sebuah gelembung udara yang terperangkap di dalam medium cair dengan ukuran diameter kurang dari 200 μm (Tohani et al. 2012). Kemudian gelembung yang berukuran micro mampu meningkatkan jumlah kadar oksigen yang terlarut sehingga Ketika di aplikasikan untuk air dalam budidaya ikan air tawar. Prinsip dari *Microbubble* itu sama dengan proses aerasi, yaitu dalam proses kerjanya sama-sama melakukan perpindahan fase atau oksigen didalam air (Scabra, Afriadin, and Marzuki 2022). Penggunaan teknologi *Microbubble* ini mampu memberikan hasil udara yang berukuran micro sehingga kebutuhan kadar oksigen terlarut yang ada di dalam air akan bertahan lama dan lebih stabil (Setyono et al. 2023).

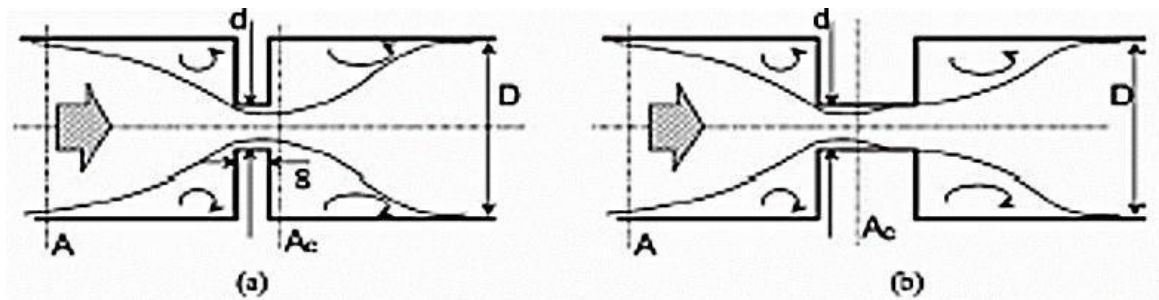
2.2 *Microbubble Generator (MBG)*

Microbubble generator adalah suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan gelembung udara didalam air dengan ukuran diameter kurang dari 200 μm (Mawarni et al. 2023). Prinsip kerja *Microbubble Generator* berdasarkan hukum *Bernouli*, yakni memanfaatkan aliran fluida dengan kecepatan tinggi pada satu sisi *venturi* untuk menciptakan kevakuman yang dimanfaatkan untuk menghisap *fluida* lain (Pratiwi, Mawardi, and Nugroho 2022). Meskipun tingkat oksigen terlarut tidak berbeda secara signifikan dengan aerasi konvensional, *Microbubble Generator (MBG)* menunjukkan degradasi lebih cepat dari kandungan organik dalam air dan diinduksi pertumbuhan yang lebih cepat (Liew et al. 2020). *Nozzel Venturi* ini dibuat dengan bentuk yang berbeda antara *input* dan *output*. di mana aliran air dipercepat melalui bagian sempit tabung, menciptakan tekanan rendah yang menarik udara ke dalam aliran, penggunaan tabung *venturi* dengan pemanfaatan struktur *foam* sebagai bagian *membran* udara yang menghasilkan *Microbubble* jauh lebih optimal (Pambudiarto et al. 2024).

2.3 *Orifice*

Orifice plate flow meter merupakan salah satu *flowmeter* berbasis beda tekanan (*pressure differential*) yang sangat banyak digunakan karena desain dan cara pengukurannya yang sederhana. Ketebalan plat *orifice* sangat mempengaruhi pola aliran yang melaluinya yang pada akhirnya mempengaruhi hasil pengukuran. Jika aliran melalui *orifice* tipis maka aliran akan mengalami gangguan yang tak berarti atau *vena contracta* yang terbentuk tidak begitu berarti (Irdam, Tanjung, and Akhyan 2025). Namun apabila aliran melewati plat

orifice yang tebal maka akan terbentuk suatu *vena contracta* yang lebih besar pada arah depan aliran setelah melewati bagian depan plat *orifice*. Prediksi aliran melewati plat *orifice* tipis dan tebal ditunjukkan dalam gambar di bawah ini (Akhyan and Fadhli 2023).



Gambar 2. 1 Profil aliran melewati plat *orifice* tipis dan tebal.

Gambar 2.1 menunjukkan dua variasi desain *Venturi* yang dibedakan oleh posisi saluran masuk udara relatif terhadap leher. Pada desain (a), saluran masuk udara terletak tepat di bawah leher, menghasilkan hisapan udara yang lebih kuat dan turbulensi yang lebih tinggi, tetapi hal ini dapat menimbulkan gelembung awal yang lebih besar. Sementara itu, desain (b) menempatkan saluran masuk udara sedikit di belakang leher, menghasilkan aliran yang lebih stabil dengan karakteristik pencampuran yang lebih halus. Perbedaan posisi ini secara langsung memengaruhi intensitas turbulensi, efisiensi hisapan udara, dan kualitas pembentukan gelembung dalam sistem generator mikrogelembung.

2.4 Prinsip Kerja *Venturi*

Venturi adalah perangkat yang beroperasi berdasarkan prinsip *Bernoulli*, yang menjelaskan bahwa ketika kecepatan aliran *fluida* meningkat akibat penyempitan pipa, tekanan pada *fluida* akan berkurang di bawah tekanan atmosfer (Reda Hamed 2023). Akibatnya, udara dari lingkungan luar akan ditarik masuk melalui selang pengatur aliran udara ke dalam generator gelembung mikro, memungkinkan pengendalian volume udara yang masuk dan menghasilkan gelembung yang semakin kecil. (Warjito and Elizabeth 2010).

2.5 *Membran Open-cell Foam*

Membran open-cell foam adalah busa terbuka yang memfasilitasi aliran udara dan air melalui struktur rongga. Bahan busa ini berfungsi sebagai media pendukung dalam generator *Microbubble* untuk mengurangi ukuran gelembung dan menjaga stabilitas aliran keluaran (Wilson et al. 2021). Menurut (Liew et al. 2020) busa dengan ukuran *foam* kecil dan distribusi yang seragam dapat meningkatkan efisiensi transfer oksigen (OTE) hingga 30% dibandingkan dengan sistem *Venturi* yang tidak menggunakan busa. Selain itu, busa ini mendukung pembentukan gelembung yang homogen dan mencegah penggabungan

gelembung. Dalam studi ini, *membran* busa sel terbuka dengan diameter yang bervariasi diterapkan untuk menganalisis pengaruh ukuran busa terhadap jumlah, dimensi, dan distribusi gelembung mikro yang dihasilkan.

2.6 *Microbubble* sebagai Pendukung Kelangsungan Hidup Ikan Air Tawar

Penggunaan *Microbubble generator* (MBG) dalam sistem aerasi telah terbukti dapat meningkatkan kualitas air dan mengoptimalkan pertumbuhan ikan air tawar. Teknologi ini menghasilkan gelembung mikro berukuran sangat kecil yang memiliki luas permukaan kontak yang sangat besar dan dapat bertahan lebih lama di dalam air. Akibatnya, oksigen dapat ditransfer ke air dengan efisiensi yang jauh lebih tinggi (Liew et al. 2020). Peningkatan kadar oksigen terlarut ini juga membantu mempercepat dekomposisi materi organik, sehingga mengurangi kebutuhan oksigen kimia (COD) dan menciptakan lingkungan perairan yang lebih sehat (Fahar, 2019).

Dalam praktiknya, studi menunjukkan bahwa MBG dapat membuat budidaya ikan menjadi jauh lebih efisien. Misalnya, menurut Fahar (2019), penggunaan MBG dapat mempercepat pertumbuhan ikan hingga 168% dibandingkan kolam biasa tanpa aerasi, dan 140% lebih baik daripada kolam dengan aerator konvensional. Selain itu, rasio konversi pakan (FCR) juga lebih rendah 99% lebih efisien daripada tanpa aerasi, dan 36% lebih baik daripada aerator konvensional. Hal ini semua berkat peningkatan oksigen, yang membantu meningkatkan metabolisme ikan, sehingga penggunaan pakan menjadi lebih efisien dan pertumbuhan ikan menjadi lebih cepat.

Penelitian serupa oleh Rahman dkk. (2023) juga menemukan hasil yang sama saat menguji pada ikan tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aerasi gelembung mikro memiliki dampak signifikan pada kelangsungan hidup ikan, pertumbuhan panjang dan berat, serta efisiensi pakan. Hasil terbaik diperoleh pada kepadatan 50 ikan per meter persegi, dengan tingkat kelangsungan hidup 90%, pertumbuhan panjang 2,09 cm, pertumbuhan berat 3,27 gram, pertumbuhan panjang spesifik 6,98%, pertumbuhan berat spesifik 10,89%, dan FCR hanya 1,10. Pada dasarnya, gelembung mikro ini menjaga tingkat oksigen yang ideal sambil mengurangi stres pada ikan yang disebabkan oleh kondisi lingkungan (Rahman dkk., 2023).

2.7 Perancangan dan pengembangan produk

Perancangan merupakan suatu proses merencanakan dan menciptakan sesuatu secara terencana dan sistematis. Pengembangan produk merupakan rangkaian aktivitas yang dimulai dari analisis persepsi dan peluang pasar, kemudian diakhiri dengan tahap produksi penjualan dan pengiriman produk. Untuk membuat perancangan dan pengembangan produk

maka ada yang Namanya *Desain of experiment (DOE)* untuk menentukan konsep awal (Baco et al. 2019).

2.7.1 *Desain of experiment (DOE)*

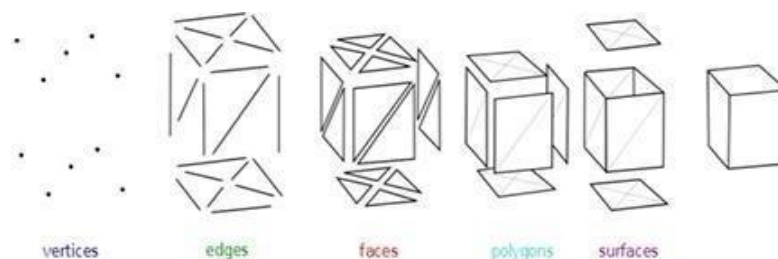
Konsep DoE pertama kali diperkenalkan oleh Sir Ronald A. Fisher pada tahun 1930. Sampai saat ini telah banyak teknik-teknik DoE yang berkembang dan digunakan untuk memecahkan berbagai macam persoalan di berbagai bidang. *Design Of Experiments (DoE)* merupakan salah satu teknik dalam perencanaan dan perancangan eksperimen yang digunakan untuk meningkatkan kualitas sistem, proses, atau produk. DoE lahir karena manusia membutuhkan suatu prosedur eksperimen yang valid, dapat meminumkan bias, secara statistik dapat dipertanggung jawabkan, serta efisien dari segi penggunaan sumber daya (Muttaqin 2019).

2.7.2 3D Print

Print er 3D adalah sebuah mesin pencetak yang mencetak objek secara 3 dimensi yang bisa dilihat, dipegang dan mempunyai volume. Sebuah model 3D dibangun lapis demi lapis yang proses pembuatan benda padat tiga dimensi dari file digital. Penciptaan objek 3D dicetak dengan menggunakan proses aditif yang dalam prosesnya suatu objek dibuat dengan meletakkan lapisan yang berurut dari bahan sampai seluruh objek terbuat.

Print 3D, juga dikenal sebagai *Additive Manufacturing (AM)*, mengacu pada proses yang digunakan untuk membuat objek tiga dimensi di mana lapisan material dibentuk di bawah kendali komputer untuk membuat objek. Benda bisa hampir sama bentuk atau geometri dan biasanya diproduksi dengan menggunakan data model digital dari model 3D atau sumber data elektronik lainnya seperti file *Additive Manufacturing File (AMF)*. Untuk menciptakan sebuah objek membutuhkan model 3D secara digital yang didapatkan dengan memindai satu set model 3D/objek, atau menggambar dengan menggunakan program 3D desain seperti misalnya program *inventor* ,*AutoCAD*, *3dsMax*, *SketchUp*, dan lainnya (Zamrodah 2016).

2.7.3 *Modeling*



Gambar 2. 2 *Component 3D Modeling.*

Gambar 2.2 *Component 3D Modeling* tersebut menunjukkan proses pembuatan model geometris tiga dimensi secara bertahap, dimulai dari komponen paling dasar hingga terbentuknya struktur 3D lengkap. Proses dimulai dengan titik-titik, yang merupakan koordinat, yang kemudian dihubungkan untuk membentuk tepi atau garis penghubung. Garis-garis ini kemudian membentuk bidang, yang merupakan permukaan datar, dan selanjutnya disusun menjadi poligon, yaitu bentuk dua dimensi yang terdiri dari lebih dari satu bidang. Tahap akhir melibatkan perakitan permukaan, yaitu permukaan keseluruhan yang saling terhubung, sehingga menghasilkan objek tiga dimensi lengkap.

3D Modeling adalah cara untuk membuat gambar objek kedalam bentuk digital yang tampak seperti nyata, baik itu bendamati atau hidup. Hal Ini melibatkan membuat desain dan mengatur objek tersebut agar terlihat hidup dalam tiga dimensi.

Di bawah ini merupakan Komponen *3D Modeling* :

- a. *Vertex* merupakan titik sudut dalam membuat objek 3D. Gabungan *vertex* dapat membentuk *edge*. Oleh karena itu, *vertex* disebut juga sebagai komponen dasar.
- b. *Edge* merupakan gabungan dari *vertex* yang dapat membentuk sebuah *polygon* tertutup. Untuk membentuk sebuah objek dapat dilakukan modifikasi garis *edge* tersebut.
- c. Gabungan *face* membentuk sebuah *polygon*. *Face* terbentuk dari gabungan *vertex* dan *edge*. *Face* juga merupakan elemen-elemen kecil berbentuk bidang segitiga.
- d. *Polygon* terbentuk dari gabungan *vertex*, *edge*, dan *face*. *Polygon* dapat berbentuk segitiga, segilima, segiempat, dan lain-lain. *Polygon* disebut juga sebagai bidang tertinggi dan bidang persegi banyak pada permukaan objek yang dibatasi oleh beberapa *edge*.
- e. *Element* dimana elemen adalah kelompok *polygon* yang saling terhubung (Arianto, Kusnadi, and Parman 2024) .

2.8 Desain *Microbubble Generator (MBG) Tipe Venturi* dengan *Membran Foam*

Desain *Microbubble* generator tipe *venturi* merupakan tahapan paling penting dalam proses pengembang alat untuk meningkatkan kadar oksigen pada air. Tujuan desain mbg adalah untuk menciptakan system yang mampu menghasilkan gelembung *Microbubble* dengan ukuran yang seragam,sebaran luas dan jumlah yang banyak menggunakan kombinasi efek *venturi* dengan system media *membran open-cell foam*(Wilson et al. 2021). Menurut

(Liew et al. 2020) desain *venturi* yang optimal bergantung pada tiga aspek utama, yaitu: geometri throat, rasio panjang konvergen–divergen, serta integrasi saluran udara terhadap aliran *fluida* utama. Sementara itu, (Haggerty et al. 2023) menambahkan bahwa penambahan media *foam* pada bagian *outlet* dapat memperhalus gelembung karena udara dipaksa melewati *foam-foam* berukuran kecil.

2.8.1 Komponen dan Prinsip Desain

Generator *microbubble* tipe *Venturi* yang dilengkapi dengan *membran foam* memiliki beberapa komponen utama, termasuk:

1. *Inlet* air : saluran masuk dari pompa yang bertujuan untuk menghasilkan aliran air berkecepatan tinggi.
2. *Throat Venturi* : bagian yang menyempit yang mengurangi tekanan statis dan menciptakan efek hisap udara.
3. *Inlet* Udara : saluran masuk udara yang terbentuk akibat tekanan negatif di leher *Venturi*.
4. *Mixing chambers* : untuk mencampur udara dan air guna membentuk gelembung awal yang kasar.
5. *Outlet Microbubble* : saluran keluar *Microbubble*.

Menurut (De Oro Ochoa et al. 2022) desain *Venturi* dengan penambahan busa dapat meningkatkan efisiensi transfer oksigen (OTE) hingga 35% dibandingkan dengan *Venturi* tanpa media poros. Hal ini disebabkan oleh pembentukan gelembung yang lebih kecil dan stabil dalam air.

2.8.2 Pengembangan Alternatif Desain

Selama tahap pengembangan Generator *Mikrobubble* (MBG), berbagai desain alternatif dikembangkan dengan mengubah konfigurasi *Inlet* air, *Throat Venturi* , *Inlet* Udara, *Mixing chambers* dan *Outlet Microbubble*. Tujuan pengembangan alternatif-alternatif ini adalah untuk mengidentifikasi kombinasi geometri yang paling optimal, sehingga menghasilkan kinerja yang superior dalam hal jumlah dan distribusi mikrogelembung (Al- Azzawi et al. 2023). Seperti dijelaskan oleh Ulrich, K.T. and Eppinger, S.D. (2015) dalam buku *Product Design and Development*, proses pemilihan konsep desain perlu melibatkan tahap eksplorasi ide, pembangkitan konsep, dan pemilihan berdasarkan kriteria teknis yang dapat diukur secara kuantitatif. Oleh karena itu, analisis konsep desain dalam studi ini dilakukan menggunakan metode *Concept Matrix* dan *Pugh Matrix* untuk mengevaluasi setiap alternatif secara objektif.

2.8.3 Konsep Matriks (*Concept Matrix*)

Matriks konsep berfungsi sebagai alat visual yang memudahkan perbandingan antara alternatif desain berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya (Kalashetty 2012). Seperti yang dijelaskan oleh (Otto and Wood 2001) dalam buku mereka *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*, matriks konsep ini berguna untuk mengumpulkan informasi tentang kelebihan dan kekurangan masing-masing alternatif secara terstruktur dan sistematis. Dalam studi ini, kriteria yang diterapkan pada matriks konsep meliputi Efisiensi pembentukan *microbubble*, Kemudahan fabrikasi, Ketahanan material, Biaya produksi, dan Kemudahan pemeliharaan. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi dan perbandingan setiap alternatif desain melalui penggunaan data kualitatif dan kuantitatif.

2.8.4 *Pugh Matrix*

Pugh matrix adalah metode sistematis yang digunakan untuk memilih konsep desain terbaik dari beberapa alternatif (Guler and Petrisor 2021). Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Stuart Pugh (1991) dan juga dikenal sebagai Metode Matriks Keputusan. Prinsipnya adalah membandingkan konsep dengan konsep acuan (data) berdasarkan kriteria yang di tentukan, lalu memberikan skor (+), (0), atau (-) sesuai dengan kinerjanya. Menurut Pugh (1991), keunggulan metode ini adalah Mengurangi subjektivitas dalam pemilihan desain, Memungkinkan penimbangan proporsional kriteria, dan Memberikan hasil yang mudah diinterpretasikan untuk tahap prototipe. Dalam konteks penelitian MBG, *Pugh Matrix* digunakan untuk mengevaluasi alternatif desain berdasarkan kinerja hisap udara, efisiensi pencampuran fluida, kualitas gelembung yang dihasilkan, stabilitas *membran foam* dan biaya manufaktur alat.

2.8.5 *Decision Matriks*

Matriks *Decision* adalah pendekatan analitis terstruktur yang diterapkan untuk mengevaluasi berbagai opsi berdasarkan kriteria penilaian tertentu. pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk secara objektif mengidentifikasi opsi terbaik dengan mempertimbangkan bobot penting dari setiap kriteria. Pendekatan ini sering diterapkan dalam bidang rekayasa desain produk karena memberikan dasar yang terukur untuk pengambilan keputusan dan mengurangi tingkat subjektivitas. Setiap opsi diberikan skor dan bobot, yang kemudian dihitung untuk menghasilkan nilai keseluruhan sebagai referensi dalam menentukan desain yang paling optimal.

2.8.6 Ranking Konsep

Ranking konsep adalah tahap penentuan urutan kinerja desain berdasarkan skor total yang telah di beri bobot hasil evaluasi sebelumnya. proses peringkat konsep bertujuan untuk mengidentifikasi desain yang paling menjanjikan untuk pengembangan lebih lanjut dan mengeliminasi alternatif yang kurang efektif. Evaluasi ini dilakukan dengan mempertimbangkan, nilai total pugh matriks, kesesuaian dengan kebutuhan pengguna, kemudahan implementasi, dan potensi peningkatan kinerja. Desain dengan skor tertinggi dipilih sebagai konsep final untuk diuji secara eksperimental pada tahap selanjutnya.

2.9 Penelitian Terdahulu

Peneliti terdahulu yang menjadi acuan dalam studi ini telah mengembangkan system *Microbubble* generator dengan prinsip kerja *venturi*. Hasil-hasil penelitian tersebut dapat di lihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 penelitian terdahulu.

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Utama
1	Liew et al.	2020	<i>Porous Venturi -Orifice Microbubble Generator</i>	Media <i>foam</i> memperkecil ukuran gelembung hingga 35 μm .
2	Ochoa et al.	2022	<i>Design and Experimental Evaluation of a Venturi Microbubble System</i>	<i>Venturi</i> menghasilkan gelembung <40 μm dengan efisiensi aerasi tinggi.
3	Ye et al.	2023	<i>Scale-up Study of Venturi MBG</i>	Geometri throat memengaruhi efisiensi hisapan udara.
4	Roshanti	2023	<i>Performance of Venturi MBG in Aquaculture</i>	<i>Venturi</i> meningkatkan DO hingga 8 mg/L.
5	Hamad et al.	2023	<i>Experimental Measurements on Microbubble Formation</i>	Tekanan operasi berbanding lurus dengan jumlah gelembung terbentuk.
6	Benny Arif et al.	2024	<i>Analysis of the performance of Microbubble generators as aerators in tilapia cultivation with high density fishery systems</i>	Laju pertumbuhan $3,970 \pm 0,014$, kelangsungan hidup 100%, dan kadar oksigen di atas 3 ppm.

Hasil penelitian tersebut menjadi dasar teoritis bahwa penggunaan *venturi* dan *foam* dapat meningkatkan efisiensi sistem aerasi melalui pembentukan *Microbubble* dengan ukuran yang lebih kecil dan distribusi yang lebih merata.