



PENGEMBANGAN PROTOTIPE *INNOVATIVE FOG COLLECTOR* SEBAGAI ALTERNATIF PENYEDIAN AIR BERSIH di MUSIM KEMARAU

Pidra Eka Saputra¹ (pidraeks04@gmail.com)

Rifki Saputra² (albabsaputra25@gmail.com)

Shofiyyah Nabilah³ (shofiyyahsch@gmail.com)

Roby Hambali⁴ (robbyhambali@ubb.ac.id)

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknik,
Universitas Bangka Belitung

ABSTRAK

Krisis air musiman mendorong pemanfaatan *fog harvesting* berbiaya rendah. Penelitian ini menguji dua prototipe *fog collector* jaring paranet (Model 1) dan plat aluminium biomimetik (Model 2) yang meniru punggung kumbang Namib melalui kombinasi situs hidrofilik dan area lebih hidrofobik. Uji lapangan empat minggu pada elevasi 26,96 mDPL menunjukkan Model 2 menghasilkan volume air kumulatif 218,6 mL, lebih tinggi daripada Model 1 (35,8 mL); puncak harian tercatat 185,1 mL pada 26 °C dan 10 km/jam. Kinerja berasosiasi dengan kondisi iklim di suatu daerah: pada pengamatan ini, 9-10 km/jam mendukung koleksi terbesar, sedangkan 6-7 km/jam tidak memadai. Keunggulan Model 2 dijelaskan oleh konduktivitas termal aluminium dan mikro-geometri benjolan yang mempercepat kondensasi dan aliran *droplet*. Temuan ini konsisten dengan studi biomimetik dan aerodinamika kolektor embun. Normalisasi hasil (mL/m²/hari) dan pengukuran LWC (*liquid water content*) disarankan untuk perbandingan lintas studi yang lebih adil. Pendekatan biomimetik menunjukkan potensi sebagai solusi air bersih alternatif pada musim kemarau.

Kata Kunci: *fog harvesting, air bersih, musim kemarau, biomimetik, Stenocara gracilipes, prototipe.*

Article History

Received: November 2025

Reviewed: November 2025

Published: November 2025

Plagiarism Checker No
235

Prefix DOI :

[10.8734/Kohesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365)

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. Pendahuluan

Air merupakan sumber daya vital yang menjadi kebutuhan dasar bagi seluruh makhluk hidup serta penopang utama bagi berbagai sektor kehidupan manusia. Namun, meningkatnya



laju pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan perubahan iklim global telah menyebabkan terjadinya krisis air di berbagai belahan dunia. Menurut World Health Organization (2023), lebih dari dua miliar penduduk dunia hidup tanpa akses yang memadai terhadap air bersih dan layak konsumsi. Kondisi ini juga dirasakan di Indonesia, di mana fenomena kekeringan pada musim kemarau berdampak signifikan terhadap ketersediaan air untuk kebutuhan rumah tangga, pertanian, serta aktivitas ekonomi (Badan Pusat Statistik, 2022).

Krisis air bersih selama musim kemarau menjadi tantangan besar di banyak daerah, khususnya di wilayah yang menghadapi curah hujan rendah serta akses terbatas terhadap infrastruktur penyediaan air. Kondisi ini berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat, produktivitas ekonomi, dan kualitas hidup secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengembangan teknologi alternatif penyediaan air yang efisien dan berkelanjutan menjadi sangat penting. Tantangan tersebut menuntut adanya inovasi dalam sistem penyediaan air bersih yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang berkembang pesat dalam dekade terakhir adalah teknologi pemanenan kabut atau embun (fog harvesting), yaitu teknik memanen uap air dari atmosfer menjadi air cair yang dapat digunakan kembali menggunakan fog collector (Verbrugghe, & Khan, 2023).

Teknologi *fog collector* memanfaatkan fenomena kondensasi di udara yang ditangkap melalui jaring atau permukaan berstruktur tertentu. Menurut Park, & Lee, (2021), sistem *fog collector* modern mampu menghasilkan antara 10 hingga 20 liter air per meter persegi per hari pada wilayah dengan tingkat kelembapan tinggi. Sementara itu, Li, & Zheng, (2019) menekankan bahwa efisiensi alat penangkap embun sangat dipengaruhi oleh faktor desain permukaan, sudut kemiringan, serta sifat material seperti hidrofilisitas dan superhidrofobisitas.

Sejumlah penelitian terkini juga telah mengembangkan desain *fog collector* yang terinspirasi dari alam. Misalnya, struktur jaring laba-laba dan permukaan daun teratai digunakan sebagai acuan dalam menciptakan material dengan kemampuan penangkapan dan pelepasan air yang tinggi (Zheng, Bai, Huang, Tian, Zhao, & Zhai, 2020). Pendekatan biomimetik ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi pengumpulan air hingga dua kali lipat dibandingkan desain konvensional. Salah satu pendekatan juga dapat diambil dari serangga seperti Kumbang Gurun Namib (*Stenocara gracilipes*) yang hidup di gurun Namib. Serangga ini mampu mengumpulkan air dari kabut pagi dengan memposisikan tubuhnya dalam sudut yang menghadap angin lembap dan menggunakan permukaan tubuh yang memiliki tonjolan hidrofilik serta alur-hidrofobik. Tonjolan-hidrofilik menarik partikel air, sedangkan alur-hidrofobik membantu tetesan agar meluncur menuju mulutnya (Parker, & Lawrence, 2001). Penelitian

oleh Zeng, Qian, Yuan, Zhou, Li, Cheng, Wang, pi, & Wen, 2016) mengadaptasi mekanisme pengumpulan air pada Kumbang Gurun Namib (*Stenocara gracilipes*) yang memiliki tonjolan hidrofilik di atas permukaan superhidrofobik. Struktur ini menciptakan gradasi energi permukaan yang mendorong tetesan air bergerak dan berkumpul. Prinsip tersebut diterapkan untuk membuat filter baja tahan karat biomimetik dengan kombinasi partikel silika hidrofilik dan lapisan *fluoropolimer*, yang mampu memisahkan emulsi air-minyak secara efisien hingga 99,95%. Kumbang Gurun Namib dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kumbang Gurun Namib (*Stenocara Gracilipes*)

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan suatu upaya pengembangan prototipe “*Innovative Fog Collector*” yang mampu mengoptimalkan proses penangkapan embun dengan memanfaatkan material ramah lingkungan dan desain efisien. Prototipe ini diharapkan menjadi solusi alternatif penyediaan air bersih terutama pada musim kemarau di wilayah rawan kekeringan. Dengan adanya inovasi ini, diharapkan kontribusi nyata dapat diberikan terhadap penguatan ketahanan air bersih berkelanjutan di Indonesia.

2. Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan kabut (*fog harvesting*) sebagai sumber air alternatif telah berkembang dari konsep sederhana (jaring) menjadi beragam desain prototipe dan sistem operasional yang dapat memberi air minum di daerah yang wilayahnya kering. Dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa *fog harvesting* merupakan teknologi dengan biaya yang rendah serta berkelanjutan pada lokasi yang memiliki kejadian kabut teratur, namun kinerja sangat dipengaruhi kondisi meteorologi dan desain kolektor. (Verbrugghe, & Ghaffour, 2023; Qadir, Ilyas, & Altaf, 2021).

Prinsip dasar *fog harvesting* adalah intersepsi droplet kabut oleh permukaan alat, kondensasi pada permukaan, dan pengaliran tetesan ke saluran/penampung. Efisiensi kolektor

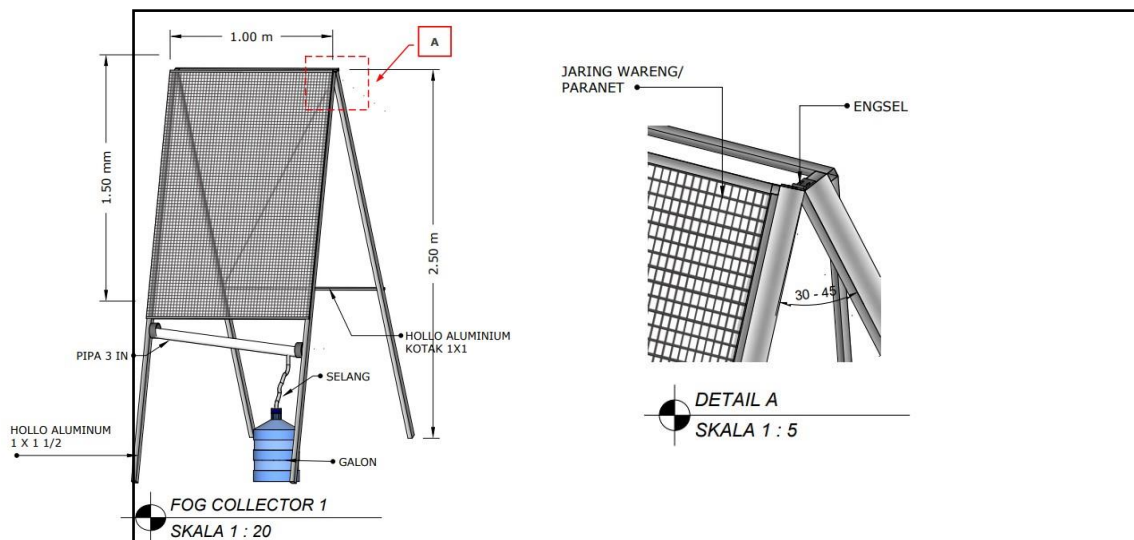


dipengaruhi oleh: *liquid water content* (LWC) pada kabut, distribusi ukuran droplet, kecepatan angin, orientasi dan geometri permukaan alat, sifat permukaan (hidrofilik/hidrofobik), serta topografi lokasi. Evaluasi eksperimental dan pemodelan menunjukkan bahwa variasi parameter ini dapat mengubah efisiensi koleksi secara signifikan sehingga desain harus disesuaikan dengan kondisi lokal. (Zefrehei, Mohammed, & Alemu, 2022; Qadir, Ilyas, & Altaf, 2021).

Penelitian oleh Erwanto, Ilmi, dan Husamadi (2021) menunjukkan bahwa hasil penangkapan air kabut di Dusun Karangbaru, Banyuwangi masih terbatas, terutama disebabkan oleh pengaruh musim dan kecepatan angin yang fluktuatif. Secara klimatologis, pembentukan kabut sangat bergantung pada kondisi kelembapan udara dan suhu lingkungan. Pada musim penghujan atau peralihan, kelembapan udara yang tinggi (lebih dari 80%) serta perbedaan suhu siang dan malam yang besar memungkinkan terbentuknya kondensasi uap air di atmosfer. Sebaliknya, pada musim kemarau dengan kelembapan relatif rendah (<60%), potensi terbentuknya kabut berkurang drastis, sehingga volume air yang dapat ditangkap oleh menara penangkap kabut menjadi sangat sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *fog collector* hanya dapat beroperasi optimal dalam periode musiman tertentu, terutama pada bulan-bulan dengan tingkat kelembapan tinggi. Hal serupa juga disampaikan oleh Ambali, & Lolo, (2020) Dalam penelitian yang dilakukan di Desa Benteng Mamullu, Kecamatan Kapalapitu, Kabupaten Toraja Utara, digunakan alat pemanen kabut tipe *Standard Fog Collector* (SFC)) berukuran 2 m × 1 m dengan bahan jaring nilon. Dua unit alat dipasang secara tegak lurus membentuk huruf L agar dapat menangkap kabut dari berbagai arah angin. Air yang terkondensasi dialirkan ke wadah penampung dan diukur pada hari tanpa hujan. Hasil pengujian menunjukkan volume air yang terkumpul masih rendah, sekitar 50-100 ml/hari, dipengaruhi oleh luas bidang tangkap, arah serta kecepatan angin, dan intensitas kabut harian. Meskipun demikian, teknologi ini dinilai memiliki potensi untuk konservasi air dan kebutuhan skala kecil, apabila dilakukan optimasi desain dan pemilihan lokasi yang tepat. Rendahnya hasil ini dipengaruhi oleh luas bidang tangkap yang terbatas, arah dan kecepatan angin yang tidak konstan, serta fluktuasi pembentukan kabut harian. Meskipun demikian, penelitian ini menegaskan bahwa dengan optimasi desain—seperti memperbesar bidang tangkap, menyesuaikan orientasi terhadap arah angin dominan, serta memilih lokasi dengan intensitas kabut tinggi—teknologi ini berpotensi dikembangkan sebagai solusi pendukung konservasi air atau sumber air tambahan bagi kebutuhan tanaman di wilayah kering pegunungan. Optimasi desain bidang tangkap dan pemilihan lokasi menjadi faktor utama yang perlu diperhatikan dalam implementasi ke depan.

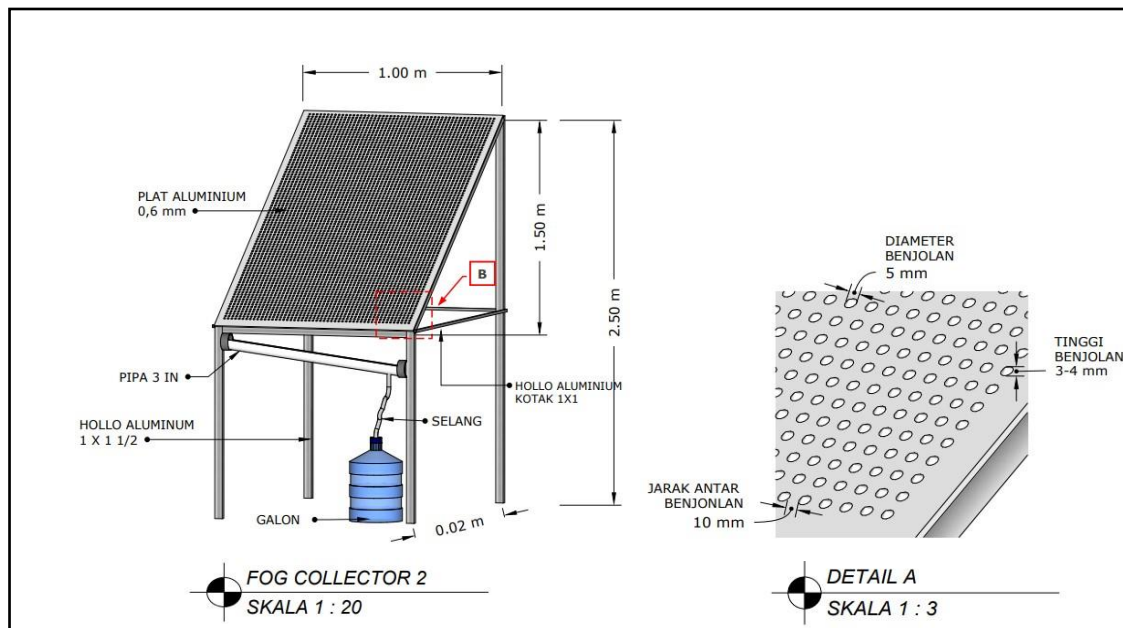
3. METODE

Alat pemanen embun dibuat menggunakan *Standard Fog Collector* (SFC). Model 1 terdiri dari jaring paranet seluas $1 \times 1,5$ m dan dipasang pada ketinggian 2,50 meter. Pada sisi kanan dan kiri dilekatkan dengan besi *hollow aluminium* $2,3 \times 3,4$ mm. Pada sisi belakang terdapat 2 besi *hollow* yang sama disambungkan dengan engsel agar dapat di ubah sudutnya. Mekanisme pemanenan (penangkapan) embun pada model 1 menggunakan permukaan jaring sebagai tempat *droplet* embun hinggap pada permukaan jaring, lalu *droplet* embun turun mengalir pada jaring hingga menuju talang yang terbuat dari pipa PVC 3 inch. Salah satu sisi pipa dihubungkan dengan selang yang terhubung langsung pada galon sebagai penampung air. Desain alat dapat dilihat pada Gambar 2.



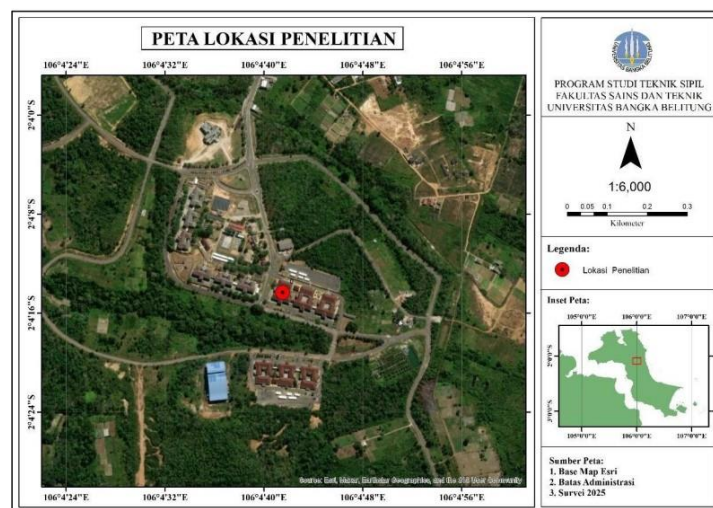
Gambar 2. Desain Model 1 Fog Collector

Model 2 diadaptasi dari Kumbang Gurun Namib (*Stenocara Gracilipes*). Plat aluminium dengan ketebalan 0,6 mm digunakan sebagai bidang penangkap embun. Plat aluminium memiliki ukuran 1m x 1,5m yang ditahan oleh besi *hollow* 1×1 mm dan $1 \times 1 \frac{1}{2}$ mm pada ke 4 sisi. Pada permukaan plat dibentuk benjolan yang diadaptasi dari punggung Kumbang Gurun Namib. Benjolan disusun dengan jarak sebesar 10 mm, dengan diameter masing-masing 5 mm dan tinggi antara 3 hingga 4 mm.. Mekanisme pada model 2 menggunakan benjolan yang dibentuk pada permukaan plat aluminium sebagai media hinggap *droplet* embun. Setelah hinggap, *droplet* embun mengalir ke bawah melalui benjolan-benjolan hingga turun ke talang. Talang pada model 2 sama dengan model 1 menggunakan pipa 3 inch yang salah satu sisinya di hubngkan dengan selang yang terhubung dengan galon. Desain dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain model 2 Fog Collector

Fog collector dibuat di laboratorium Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bangka Belitung, sementara proses penangkapan embun dilakukan pada lapangan terbuka di sekitar kampus dengan elevasi 26,96 mDPL. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pada penelitian ini, masing-masing model dipasang dengan menggunakan sudut 45° , arah yang digunakan disesuaikan pada arah angin.



Gambar 4. Lokasi Penelitian



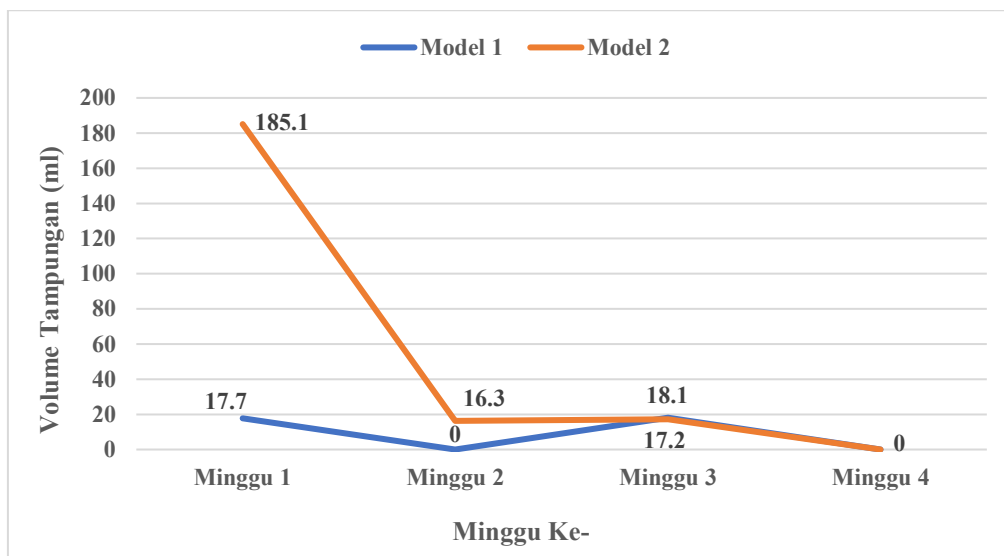
Gambar 5. Lokasi dan Alat

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dari tanggal 29 september sampai dengan 31 oktober dengan pengecekan alat pada jam 6 - 7 pagi WIB. Model alat *fog collector* yang dipasang pada elevasi $\pm 26,96$ m di atas permukaan laut dan sudut kemiringan 45° terhadap arah angin dominan. Data hasil pengamatan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Air yang Didapatkan

Minggu	Hasil (ml)		Suhu ($^\circ\text{C}$)	Arah Angin	Kecepatan Angin (Km/J)
	Model 1	Model 2			
Minggu 1	17,7	185,1	26	Tenggara	10
Minggu 2	0	16,3	28	Selatan	7
Minggu 3	18,1	17,2	29	Tenggara	9
Minggu 4	0	0	26	Timur	6



Gambar 5. Grafik Hasil

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada minggu pertama, saat suhu 26 °C dan kecepatan angin 10 km/jam, Model 2 mencatat hasil tertinggi 185,1 ml, sedangkan Model 1 menghasilkan 17,7 ml. Pada minggu kedua-keempat, ketika suhu meningkat (28-29 °C) dan/atau kecepatan angin menurun (6-7 km/jam), volume yang terkumpul turun tajam hingga nol. Selain factor angin, kondisi cuaca seperti hujan juga memengaruhi proses pengambilan data. Saat hujan terjadi, proses pengumpulan air kabut tidak dapat diamati secara akurat karena adanya campuran air hujan, sehingga data pada periode tersebut tidak digunakan dalam analisis. Secara kumulatif, Model 2 mencapai 218,6 mL dan Model 1 sebesar 35,8 mL; dengan demikian, efisiensi relatif Model 2 terhadap Model 1 sekitar enam kali.

Perbedaan kinerja terutama dipengaruhi oleh material dan mikro-geometri permukaan. Paranet berpori besar cenderung membiarkan *droplet* lolos sebelum sempat tumbuh dan mengalir, sedangkan aluminium berkonduktivitas termal tinggi mempercepat pendinginan permukaan sehingga kondensasi lebih awal. Benjolan mikro yang meniru punggung *Stenocara Gracilipes* menyediakan permukaan hidrofilik untuk tempat titik - titik air mulai berkumpul (nukleasi *droplet*), sementara area antar-benjolan yang lebih hidrofobik berfungsi mengarahkan aliran *droplet* embun menuju talang dengan bantuan gravitasi. Dinamika angin memiliki peran penting dalam penelitian ini, di mana kecepatan angin pada kisaran 9-10 km/jam menunjukkan korelasi dengan volume tangkapan air tertinggi, sedangkan kecepatan angin 6-7 km/jam dinilai belum cukup untuk menghasilkan jumlah air yang signifikan.

Dibandingkan pendekatan berbasis jaring (paranet) yang umumnya melaporkan beberapa hingga puluhan ml/m²/hari tergantung LWC (*liquid water content*), desain dengan pendekatan serangga *Stenocara Gracilipes* pada penelitian ini memperlihatkan keunggulan relatif terhadap



jaring konvensional pada kondisi iklim setempat. Rentang hasil sangat lebar dari beberapa $L/m^2/hari$ hingga $> 20 L/m^2/hari$. Sesuai dengan Permenkes No. 492/Menkes/Per/IV/2010, nilai pH air minum yang memenuhi standar berada pada kisaran 6,5-8,5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pH air embun yang dihasilkan prototipe berada pada nilai 7, sehingga masih berada dalam rentang yang dipersyaratkan dan memenuhi kriteria kualitas air minum berdasarkan regulasi tersebut.

5. KESIMPULAN

Dua prototipe *fog collector* telah diuji di lapangan, yaitu model 1 menggunakan jaring (paranet) dan model 2 menggunakan plat aluminium. Model biomimetik berbahan aluminium secara konsisten menghasilkan volume air lebih tinggi daripada jaring paranet dengan total 218,6 ml banding 35,8 ml selama empat minggu. Pada pengamatan ini, kecepatan angin 9-10 km/jam dan suhu lebih rendah berasosiasi dengan hasil terbaik. Keunggulan model biomimetik terutama berasal dari kombinasi konduktivitas termal aluminium dan mikro-geometri benjolan yang memfasilitasi nukleasi serta aliran droplet. Hasil ini sejalan dengan temuan literatur mengenai permukaan hibrid hidrofilik-hidrofobik dan pengaruh aerodinamika terhadap efisiensi kolektor. Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, pengujian prototipe dilakukan dalam rentang waktu dan kondisi cuaca yang terbatas, sehingga variasi faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan relatif, dan intensitas kabut belum dapat terwakili secara menyeluruh. Kedua, alat ukur yang digunakan masih bersifat sederhana, sehingga kemungkinan terdapat kesalahan kecil pada hasil pengukuran volume air dan kecepatan angin. Ketiga, skala prototipe yang relatif kecil menyebabkan hasil tangkapan air belum dapat sepenuhnya menggambarkan kinerja alat pada penerapan skala lapangan yang lebih besar. Selain itu, pengaruh partikel debu dan kontaminan udara terhadap kualitas air hasil tangkapan belum dianalisis secara kimiawi. Dengan demikian, diperlukan penelitian lanjutan dengan durasi pengamatan lebih panjang, variasi lokasi, dan analisis kualitas air yang lebih komprehensif untuk memperoleh hasil yang lebih representatif dan aplikatif. Penelitian lanjutan sebaiknya menambahkan hasil per luas-waktu, pengukuran LWC (*liquid water content*)/diameter *droplet*, variasi sudut dan ketinggian pemasangan, serta *coating* superhidrofobik untuk meningkatkan pada hasil yang didapatkan.

6. REFERENSI

Ambali, D. & Lolo, J. (2020). *Analisis Potensi Teknologi Pemanen Kabut (Fog Harvesting) Sebagai Alternatif Sumber Daya Air Terbarukan di Kabupaten Toraja Utara (Studi Kasus: Desa Benteng Mamullu, Kecamatan Kapalapitu)*. Journal Dynamic Saint.



- Badan Pusat Statistik. (2022). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2022*. Jakarta: Bps Ri.
- Erwanto, Z., Ilmi, M. R., & Husamadi, M. R. (2021). *Penerapan Teknologi Menara Penangkap Kabut (Fog Harvesting) Untuk Kebutuhan Air Bersih*. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat: Dikemas, 5(1), 32-38.
- Li, X., Li, J., & Zheng, Y. (2019). *Bioinspired Materials For Water Collection and Transportation*. Advanced Materials, 31(44), 1807795.
- Park, K., Kim, D., & Lee, J. (2021). *Performance Evaluation Of Fog Water Harvesting Systems In Coastal Arid Regions*. Desalination And Water Treatment, 228, 230-238.
- Parker, A. R., & Lawrence, C. R. (2001). *Water Capture By A Desert Beetle*. Nature, 414(6859), 33-34.
- Qadir, M., Ilyas, N., & Altaf, H. (2021). *Research History and Functional Systems Of Fog Water Harvesting*. Frontiers In Water, 3, 764923.
- Verbrugghe, N., & Ghaffour, N. (2023). *Water Harvesting Through Fog Collectors: A Review Of Conceptual, Experimental, And Operational Aspects*. International Journal Of Low-Carbon Technologies, 18(2), 256-278.
- Verbrugghe, N., & Khan, A. Z. (2023). *Water Harvesting Through Fog Collectors: A Review Of Conceptual, Experimental And Operational Aspects*. International Journal Of Low-Carbon Technologies, 18(3), 392-403.
- World Health Organization. (2023). *Progress On Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2023 Update*. Geneva: Who Press.
- Zefrehei, A. A., Mohammed, T., & Alemu, D. (2022). *Evaluation Of Geometrical Parameters Of Collector Mesh On Fog Harvesting Efficiency*. Ain Shams Engineering Journal, 13(5), 101715.
- Zeng, X., Qian, L., Yuan, X., Zhou, C., Li, Z., Cheng, J., Xu, S., Wang, S., Pi, P., & Wen, X. (2016). *Inspired By Stenocara Beetles: From Water Collection To High-Efficiency Water-In-Oil Emulsion Separation*. ACS Nano, 10(10), 10081-10089.
- Zheng, Y., Bai, H., Huang, Z., Tian, X., Nie, F.-Q., Zhao, Y., & Zhai, J. (2020). *Directional Water Collection On Wetted Spider Silk*. Nature Communications, 11(1), 608.