

Uji Kinerja dan Penerapan *Nanobubble Generator* pada Hidroponik *Nutrient Film Technique* (NFT) Terhadap Pertumbuhan Selada

Performance Testing and Application of Nanobubble Generator in Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponics on Lettuce Growth

Grace Indah Oktora^{1*}, Asep Yusuf¹, Sophia Dwiratna NP¹, Hilman Syaeful Alam²

¹Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363, Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bandung 40135, Indonesia

*E-mail: grace19005@mail.unpad.ac.id

Diterima: 14 Agustus 2024; Disetujui: 2 Desember 2024

ABSTRAK

Nanobubble generator merupakan salah satu alat untuk menghasilkan gelembung halus dengan diameter $< 1 \mu\text{m}$. *Nanobubble generator* terdiri dari pompa dan nozel yang diaplikasikan pada larutan nutrisi sehingga kadar *Dissolved Oxygen* (DO) dapat meningkat. Hidroponik *Nutrient Film Technique* (NFT) memiliki kadar DO terkecil pada siang hari yaitu 5,2 mg/L. Kadar DO tersebut masih termasuk dalam kebutuhan tanaman hidroponik namun belum mendekati batas maksimal yaitu 8 mg/L. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dan pengaruh *nanobubble generator* terhadap pertumbuhan selada pada hidroponik NFT. Uji kinerja *nanobubble generator* dilakukan dengan uji PSA, uji zeta potensial, pengukuran listrik, dan perubahan kadar DO. Pada penanaman selada terdapat 4 perlakuan meliputi: kontrol (P0), *generate* 3 hari sekali (P1), *generate* 7 hari sekali (P2), dan *generate* 10 hari sekali (P3). Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK). Hasil pengukuran tanaman dibandingkan dengan uji ANOVA, dan dilanjutkan dengan uji Duncan untuk mengetahui perbedaannya. Hasil uji kinerja *nanobubble generator* diantaranya diameter gelembung nano yaitu 394,6 nm; nilai indeks polidispersi (PDI) yaitu 1,783; zeta potensial sebesar -23,3 mV; daya, tegangan, dan arus listrik sebesar 98,47 Watt; 230,71 Volt; 0,44 Ampere. Hasil tersebut menunjukkan diameter gelembung sesuai standar ISO 20480-1-2017 dengan distribusi ukuran gelembung yang heterogen, serta memiliki stabilitas yang baik di dalam air. Hasil pengukuran biaya listrik sangat kecil yaitu Rp 426,1865 untuk satu masa panen. Hasil pengamatan pertumbuhan selada terdapat perbedaan kadar DO pada setiap perlakuan dengan penerapan *nanobubble generator*. Hasil panen pertumbuhan selada yang paling baik pada parameter berat segar, tinggi tanaman, dan lebar naungan yaitu dengan perlakuan P1 (*generate* setiap 3 hari sekali).

Kata kunci: NFT; Kadar DO; *Nanobubble generator*; Selada; Uji Kinerja

ABSTRACT

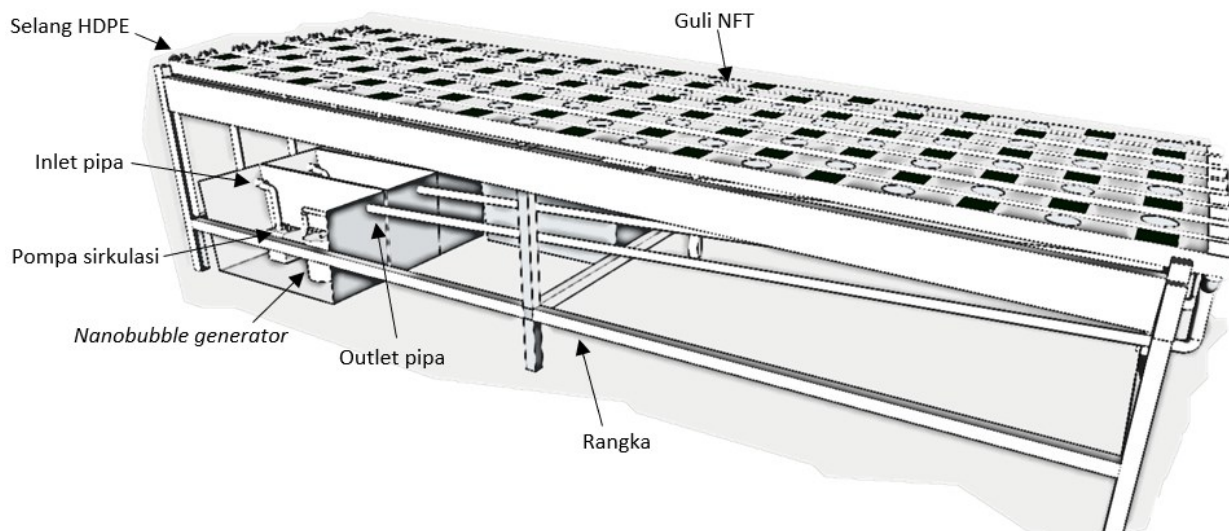
Nanobubble generator is one of the tools to produce fine bubbles with a diameter of $< 1 \mu\text{m}$. The *nanobubble generator* consists of a pump and nozzles that are applied to the nutrient solution so that *Dissolved Oxygen* (DO) levels can increase. *Nutrient Film Technique* (NFT) hydroponics has the smallest DO levels during the day at 5.2 mg/L. The DO level is still included in the needs of hydroponic plants but not yet close to the maximum limit of 8 mg/L. This study aims to determine the performance and effect of *nanobubble generator* on lettuce growth in NFT hydroponics. The performance test of the *nanobubble generator* was carried out by PSA test, zeta potential test, electrical measurements, and changes in DO levels. In lettuce planting there are 4 treatments including: control (P0), generate every 3 days (P1), generate every 7 days (P2), and generate every 10 days (P3). The study used a Randomized Group Design. The results of plant measurements were compared with the ANOVA test, and continued with the Duncan test to determine the difference. The results of the *nanobubble generator* performance test include nano bubble diameter of 394.6 nm; polydispersion index (PDI) value of 1.783; zeta potential of -23.3 mV; power, voltage, and electric current of 98.47 Watt; 230.71 Volt; 0.44 Ampere. These results show that the bubble diameter is in accordance with ISO 20480-1-2017 standard with heterogeneous bubble size distribution, and has good stability in water. The measurement results of electricity costs are very small, namely Rp 426.1865 for one harvest period. The results of observations of lettuce growth there are differences in DO levels in each treatment with the application of *nanobubble generators*. The best lettuce growth harvest results in the parameters of fresh weight, plant height, and shade width are with treatment P1 (generate every 3 days).

Keywords: NFT Hydroponics, DO Level, *Nanobubble generator*, Green Lettuce, Performance Test

PENDAHULUAN

Hidroponik merupakan proses budidaya tanaman dengan menggunakan media tanam air yang mengandung larutan nutrisi. Terdapat beberapa sistem hidroponik salah satunya yaitu *Nutrient Film Technique* (NFT). Hidroponik

NFT paling sering digunakan pada hidroponik komersial terutama untuk tanaman sayur daun. Hidroponik NFT merupakan metode budidaya hidroponik yang aliran nutrisinya memiliki tinggi $\pm 3 \text{ mm}$ pada perakitan tanaman (Sari et al, 2016).

Gambar 1. Skema Hidroponik Sistem NFT dengan *Nanobubble Generator*

Dalam hidroponik, kadar oksigen terlarut atau *dissolved oxygen* (DO) merupakan salah satu faktor yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Hal ini dikarenakan proses respirasi akar membutuhkan oksigen yang cukup di daerah perakaran tanaman. Semakin tinggi kadar DO maka pertumbuhan akar semakin panjang dan lebat sehingga penyerapan nutrisi lebih maksimal yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Kebutuhan kadar DO tanaman hidroponik yaitu antara 4 - 8 mg/L (Dwiratna et al, 2022). Kadar DO di bawah nilai kritis akan mengakibatkan kerusakan akar sehingga menghambat pertumbuhan tanaman (Suhl et al, 2019). Saat siang hari, konsentrasi oksigen hidroponik NFT dapat sangat terkuras. Nilai kadar DO saat siang hari turun menjadi 5,2 mg/L. Nilai DO tersebut belum mendekati batas maksimal kebutuhan tanaman yaitu 8 mg/L, yang diharapkan dapat lebih meningkatkan pertumbuhan tanaman.

Nanobubble merupakan gelembung halus dengan diameter $< 1 \mu\text{m}$ (ISO 20480-1, 2017). Ukurannya yang sangat kecil membuat *nanobubble* memiliki kecepatan naik yang lambat sehingga dapat bertahan lama di dalam air. Selain itu, *nanobubble* memiliki tingkat stabilitas yang tinggi (Wang et al, 2019). Pada penelitian Phaengkio dkk. (2019) melaporkan bahwa *nanobubble* dengan sistem hidroponik DFT dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, lebar kanopi, dan panjang akar serta mengurangi waktu tanam sekitar satu minggu pada selada. Efek dari *nanobubble* pada irigasi tetes mentimun dan tomat pada penelitian Liu et al (2019), hasil analisis ditemukan bahwa saat panen mentimun dan tomat meningkat dengan penerapan *nanobubble*. Telah terbukti bahwa *nanobubble* lebih mempengaruhi DO dalam larutan nutrisi dibandingkan dengan aerasi konvensional sehingga meningkatkan pertumbuhan daun dan batang tanaman (Kobayashi dan Yamaji, 2022).

Nanobubble dapat terbentuk salah satunya dengan penggunaan *nanobubble generator*. Salah satu jenis *nanobubble generator* yaitu aliran berputar. *Nanobubble generator* tipe aliran berputar memiliki beberapa keunggulan seperti ukurannya tidak besar, mudah dibawa, dan laju disolusi oksigen yang cepat. Dengan adanya *nanobubble generator* maka penting untuk mengetahui kinerja *nanobubble generator* sehingga dapat memaksimalkan hasil gelembung nano. Karena sebagian besar penelitian sebelumnya tentang penerapan *nanobubble* pada hidroponik sistem DFT atau rakit apung, tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menguji kinerja *nanobubble*

generator pada hidroponik sistem NFT sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan selada.

METODOLOGI

Penelitian dilakukan pada bulan Februari 2024 - Juni 2024 di Laboratorium Urban Farming, Gedung Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian (FTIP), dan Bengkel Latih Bubut, Pedca Utara, Universitas Padjadjaran. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Parameter uji kinerja yang diukur yaitu diameter gelembung nano, nilai indeks polidispersitas, nilai zeta potensial, daya listrik, tegangan listrik, arus listrik, dan kadar DO. Parameter pertumbuhan tanaman yang diukur setiap 2 hari sekali yaitu tinggi tanaman, lebar naungan, dan jumlah daun. Parameter yang diukur saat panen yaitu tinggi tanaman, lebar naungan, jumlah daun, panjang akar dan bobot tanaman. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan satu faktorial yaitu *intermittent* waktu pembangkitan. Data tanaman selada dianalisis menggunakan uji *Analysis of Varians* (ANOVA) dengan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) memakai *software* SPSS. Berikut merupakan perlakuan pada penelitian:

- P0 = Kontrol
- P1 = Nb generate 3 hari sekali
- P2 = Nb generate 7 hari sekali
- P3 = Nb generate 10 hari sekali

Banyaknya ulangan minimum RAK adalah:

$$(t-1)(n-1) \geq 15 \quad (1)$$

Keterangan:

- t = banyak perlakuan
- n = banyak ulangan

Sehingga, penelitian ini memiliki banyak ulangan tanaman selada hijau sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (4-1)(n-1) &\geq 15 \\ 3(n-1) &\geq 15 \\ 3n - 3 &\geq 15 \\ 3n &\geq 18 \\ n &\geq 6 \end{aligned} \quad (2)$$

Setiap perlakuan jumlah sampelnya sebanyak 14 tanaman. Perlakuan penelitian berjumlah 4, maka jumlah keseluruhan sampel sebanyak 56 tanaman. Berikut ini

merupakan skema hidroponik sistem NFT dengan *nanobubble generator*.

Model matematika RAK dengan banyaknya perlakuan t dan banyaknya ulangan n sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

Keterangan:

Y_{ij} = nilai pengamatan pada perlakuan ke i dan ulangan ke j

μ = nilai tengah umum (mean populasi)

τ_i = pengaruh perlakuan ke i

β_j = pengaruh ulangan ke j

ε_{ij} = galat percobaan pada perlakuan ke- i dan ulangan ke- j

Berikut Tabel 1 merupakan tabel sidik ragam untuk RAK. Apabila $F_{hitung} \leq F_{tabel}$ maka terima H_0 dan sebaliknya tolak H_0 bila $F_{hitung} \geq F_{tabel}$.

Tabel 1. Tabel Sidik Ragam RAK

Sumber Keragaman (SK)	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Bebas (db)	Kuadrat Tengah (KT)	F_{hitung}	F_{tabel}
Perlakuan	JKP	$i-1$	KTP	KTP/KTG	dbp, dbs
Kelompok (Ulangan)	JKK	$j-1$	KTK	KTK/KTG	dbk, dbs
Galat	JKG	$(i-1)(j-1)$	KTG		
Total	JKT	$ij-1$			

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu *nanobubble generator* tipe aliran berputar berdaya 100 Watt, instalasi hidroponik NFT, pompa sirkulasi hidroponik, kamera *slow motion*, laptop, TDS meter, DO meter, *flowmeter*, *pressure gauge*, *clampmeter*, lux meter, *thermohygrometer*, dan timbangan. Bahan yang digunakan yaitu air baku, benih selada, dan nutrisi AB mix.

Uji Laboratorium (PSA dan Zeta Potensial)

PSA singkatan dari *Particle Size Analyzer* yang merupakan pengujian untuk mengetahui ukuran gelembung nano yang terbentuk. Pengujian ukuran nano tersebut menggunakan teknik *Dynamic Light Scattering* (DLS). Zeta potensial adalah pengujian untuk mengetahui stabilitas sediaan gelembung nano di dalam air.

Penyemaian Tanaman Selada

Benih selada direndam selama 30 menit. *Rockwool* dipotong dengan ukuran 2,5 x 2,5 cm menggunakan *cutter* dan penggaris dan direndam dengan air. Lalu, letakkan potongan *rockwool* pada tempat semaian. Kemudian, lubangi potongan *rockwool* dengan tusuk gigi sedalam 0,3 cm. Setelah selesai direndam, masukkan satu buah benih selada untuk setiap satu potongan *rockwool*. Tambahkan air pada tempat semaian untuk menjaga *rockwool* tetap lembab. Tempat semaian diletakkan pada tempat yang terpapar sinar matahari. Pindah tanam dilakukan saat bibit selada sudah memiliki 3-4 daun sejati.

Pengamatan Pertumbuhan Selada

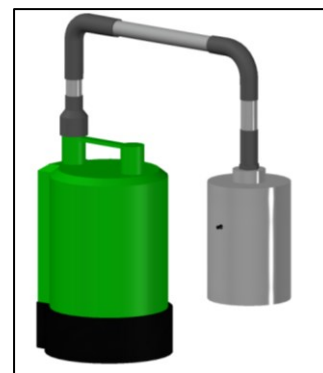
Pada hari ke-0 (hari pindah tanam), memasukkan air baku sebanyak 56 L dan nutrisi AB mix ke dalam tandon kemudian aduk hingga merata. Nilai TDS diatur mendekati 810 ppm, EC 1,7 mS, dan pH 6,5. Pompa sirkulasi dimasukkan ke dalam tandon dan dinyalakan agar larutan nutrisi dapat mengalir sistem NFT. Bibit selada dipindah tanam ke guli NFT. Mengukur nilai DO, pH, EC, TDS, suhu larutan nutrisi, suhu serta kelembaban lingkungan sebelum larutan nutrisi digenerate oleh *nanobubble generator*. *Nanobubble generator* dimasukkan ke dalam tandon nutrisi dan dinyalakan selama 10 menit. Saat pompa menyala, *logger* data menggunakan DO meter untuk merekam data. *Nanobubble generator* dan *logger* data dimatikan, lalu salin

data ke laptop. Lakukan *generate nanobubble generator* pada semua perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nanobubble Generator Aliran Berputar (*Swirling Flow*)

Nanobubble generator yang digunakan pada penelitian ini adalah pompa celup Wasser WD-101E dengan satu buah nozel *swirling flow*. Prinsip kerja *generator* ini yaitu larutan nutrisi bertekanan dari pompa masuk ke arah nozel hingga membentuk pola aliran berputar. Aliran larutan nutrisi yang berputar menyebabkan rendahnya tekanan (tekanan negatif) sehingga udara bebas terhisap ke dalam nozel melalui inlet udara. Terjadi penyempitan volume nozel, maka kecepatan aliran pusaran menjadi naik. Aliran pusaran yang dihasilkan akan menimbulkan gaya sentrifugal pada larutan nutrisi dan gaya sentripetal pada udara secara bersamaan yang disebabkan oleh perbedaan nilai massa jenis. Perbedaan kecepatan putar larutan nutrisi dan udara akan mengakibatkan pemisahan antara larutan nutrisi dan udara serta terjadi kavitasi dan terbentuk gelembung pada bagian outlet. Gambar 2 merupakan *nanobubble generator swirling flow*.



Gambar 2. *Nanobubble Generator Swirling Flow*

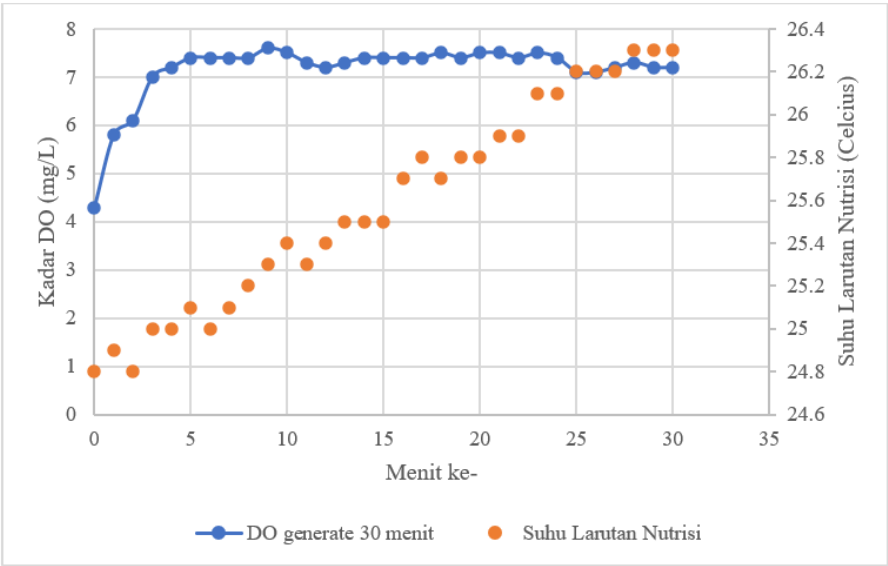
Pengukuran daya, tegangan, dan arus listrik menggunakan *clampmeter* berturut-turut sebesar 98,47 Watt, 230,71 Volt dan 0,44 Ampere. Berdasarkan Tabel 2.

total energi listrik yang digunakan *nanobubble generator* selama 30 hari sebanyak 0,295 kWh. Berdasarkan data tarif tenaga listrik dari PLN 2024, tarif dasar untuk bisnis menengah yaitu Rp 1.444,70 per kWh. Sehingga, total biaya listrik yang dikeluarkan *nanobubble generator* untuk satu kali panen selada hijau selama 30 hari yaitu sebesar Rp 426,1865. Biaya tersebut merupakan aplikasi pada hidroponik sistem NFT dengan dimensi 350 x 130 x 85 cm

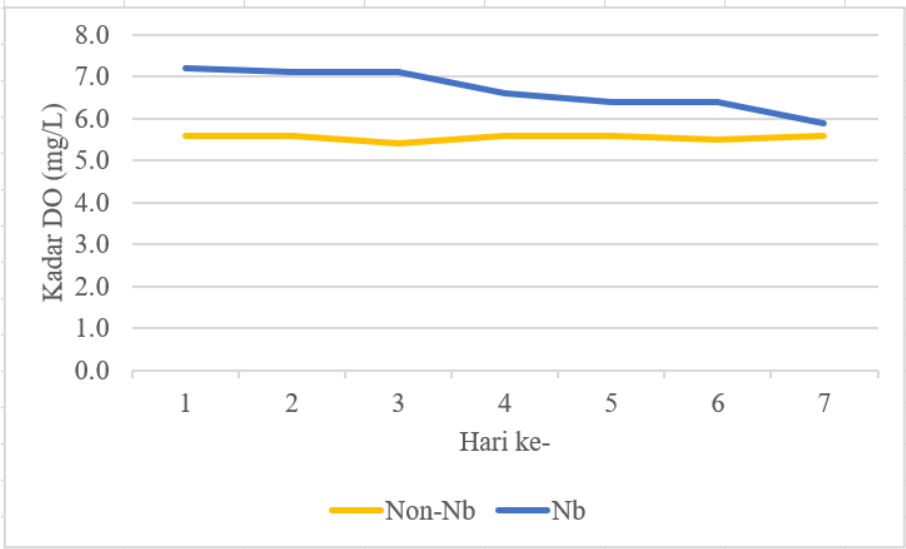
dan volume larutan nutrisi sebanyak 56 Liter. Biaya listrik untuk *nanobubble generator* masih terbilang sangat kecil sehingga penggunaan *nanobubble generator* bisa lebih sering diaplikasikan dengan membuat *intermittent* waktu pembangkitan lebih cepat. Dengan minimnya biaya listrik *nanobubble generator* cocok diaplikasikan pada skala industri sehingga dapat lebih meningkatkan pertumbuhan tanaman sayuran.

Tabel 2. Jumlah Konsumsi Energi Listrik *Nanobubble Generator*

Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya (Watt)	Lama Penggunaan (Jam)	Jumlah Energi Listrik (kWh)	Biaya (Rp)
0,44	230,71	98,47	3	$W = \frac{(P \times t)}{1000}$ $W = \frac{(98,47 \times 3)}{1000}$ $W = 0,295$	$0,295 \times 1.444,70 = 426,1865$



Gambar 3. Kadar DO Selama 30 Menit *Generate*



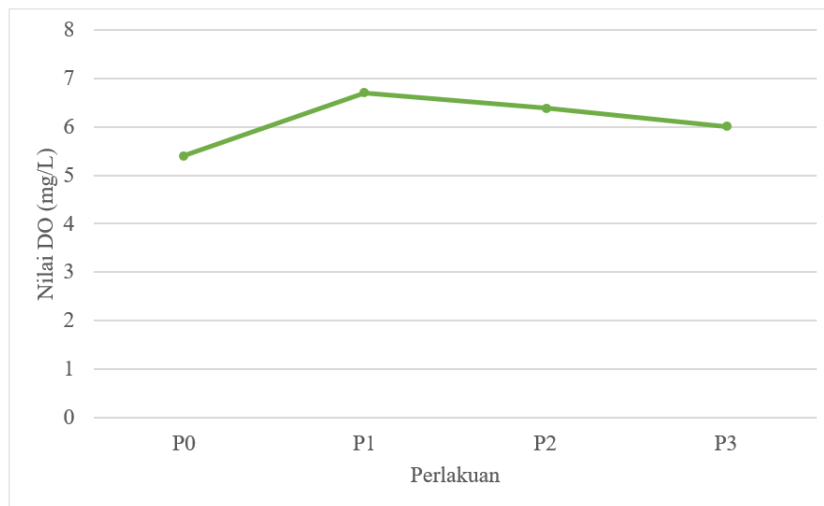
Gambar 4. Kadar DO Selama 7 Hari Setelah *Generate* 30 Menit

Penetapan Waktu Pembangkitan

Waktu pembangkitan atau *generate* dilakukan untuk mengetahui durasi waktu *nanobubble generator* dinyalakan pada larutan nutrisi hidroponik. Gambar 3 merupakan hasil data *generate* selama 30 menit.

Kadar DO awal sebesar 4,3 mg/L yang terus meningkat setelah dilakukan *generate* selama 30 menit. Kadar DO tertinggi ada pada menit ke-8 yaitu 7,6 mg/L. Setelah menit ke-8, kadar DO lebih stabil dan perlahan mulai menurun

hingga menit ke-30. Waktu pembangkitan 10 menit telah mencapai kadar DO maksimum yaitu 7,6 mg/L yang mendekati angka 8 mg/L. Penelitian Yusuf et al (2024) menyatakan bahwa hasil karakterisasi *generator* MNBs menunjukkan waktu optimal untuk menghasilkan gelembung mikro-nano dalam cairan. Kadar DO awal sebelum pembentukan MNBs adalah 3,8 mg/L, dan kadar DO setelah pembangkitan yaitu 6,55 mg/L. Titik kadar DO tertinggi terjadi pada menit ke-10 yang merupakan waktu optimal untuk pembangkitan MNBs.



Gambar 5. Kadar DO Setiap Perlakuan

Penetapan *Intermittent* Waktu Pembangkitan

Larutan nutrisi merupakan media yang akan digunakan untuk penerapan *nanobubble generator*. Pengaplikasian *nanobubble generator* ini dapat meningkatkan kadar DO. Perubahan nilai DO larutan nutrisi tersebut digunakan untuk menentukan *intermittent* waktu pembangkitan. Pada Gambar 4, menunjukkan perubahan kadar DO antara larutan nutrisi yang diberi perlakuan Nb dan non-Nb selama 7 hari.

Pada grafik terlihat kadar DO non-Nb yaitu 5,6 mg/L dan setelah diberi *nanobubble generator* selama 30 menit nilainya menjadi 7,6 mg/L. Nilai DO non-Nb berubah disetiap waktunya namun cenderung memiliki nilai yang sama setiap harinya. Berbeda dengan penerapan *nanobubble generator*, nilai DO terus berubah setiap waktunya dan cenderung turun mendekati nilai DO non-Nb pada jangka waktu 7 hari setelah *generate*/pembangkitan *nanobubble generator* sebelumnya. Berdasarkan Gambar 4, *intermittent* waktu pembangkitan masih cukup baik hingga hari ke- 7, maka peneliti ingin mengetahui pengaruh nilai DO baik dalam rentang waktu tersebut dan setelah hari ke-7. Sehingga *intermittent* waktu pembangkitan yang dirancang yaitu *generate nanobubble generator* selama 10 menit setiap 3 hari sekali. Variasi lain dari perlakuannya, *nanobubble generator* juga di *generate* selama 10 menit setiap 7 hari sekali. Adapun perlakuan lainnya yaitu *generate nanobubble generator* selama 10 menit setiap 10 hari sekali.

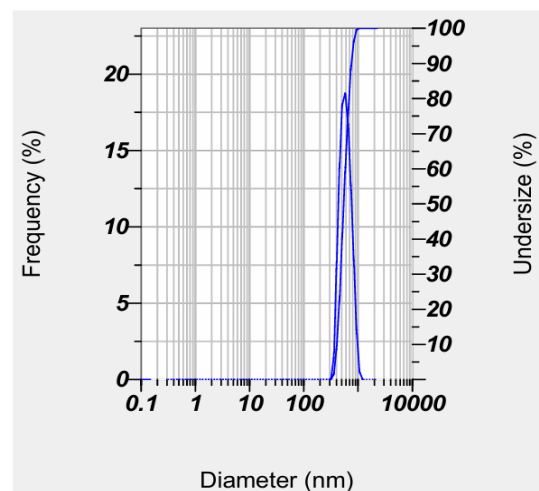
Analisis Kadar DO Setiap Perlakuan

Hasil pengamatan rata-rata kadar DO pada perlakuan kontrol (P0), *generate* 3 hari sekali (P1), *generate* 7 hari sekali P2, *generate* 10 hari sekali (P3) berturut-turut

yaitu 5,4; 6,7; 6,4; dan 6 mg/L. Pembangkitan *nanobubble generator* 3 hari sekali menunjukkan nilai oksigen terlarut yang paling tinggi, kedua *generate* 7 hari sekali, ketiga 10 hari sekali, dan yang paling rendah kadar DO kontrol. Semakin pendek rentang waktu pembangkitan atau semakin sering pembangkitan MNBs dilakukan maka dapat meningkatkan nilai oksigen terlarut. Berikut gambar 5 merupakan grafik nilai DO setiap perlakuan.

Analisis Ukuran Nano

Hasil uji laboratorium PSA (*Particle Size Analyzer*) dapat mengetahui ukuran gelembung nano yang dihasilkan oleh *nanobubble generator* tipe aliran berputar. Pada pengukuran ini menggunakan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS).



Gambar 6. Grafik Distribusi Ukuran Gelembung Nano

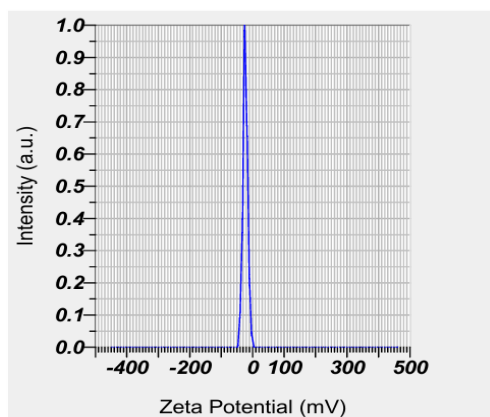
Gambar 6 merupakan grafik pengukuran ukuran gelembung nano berdasarkan frekuensinya menghasilkan distribusi bimodal yang berukuran kurang dari 1 μm . Rata-rata diameter gelembung nano berukuran 394,6 nm. Nilai tersebut termasuk dalam standar ISO 20480-1-2017 yang menyatakan bahwa ukuran *ultrafine bubble* atau gelembung nano yaitu kurang dari 1 μm atau antara 0,01 μm – 1 μm . Rata-rata geometrik yang lebih besar tidak langsung menunjukkan bahwa ukuran gelembung bertambah atau menyatu. Alasannya adalah metode DLS lebih sensitif terhadap partikel besar dibandingkan partikel kecil, sehingga konsentrasi partikel besar yang relatif lebih tinggi dapat dideteksi (Ushikubo et al, 2010).

Analisis Nilai Indeks Polidispersi (PDI)

Hasil uji laboratorium menunjukkan nilai indeks polidispersi (PDI) sebesar 1,783. Nilai PDI digunakan untuk memperkirakan rentang distribusi ukuran partikel yang ada dalam suatu sampel dimana semakin kecil nilai indeks polidispersitas maka ukuran partikel semakin homogen (Napsah dan Wahyuningsih, 2014). Nilai indeks polidispersitas yang mendekati nol menunjukkan distribusi partikel yang homogen dan seragam sedangkan nilai indeks polidispersitas yang melebihi 0,5 menunjukkan partikel memiliki tingkat heterogenitas yang tinggi. Berdasarkan hasil uji laboratorium, maka nilai indeks polidispersi (PDI) melebihi 0,5 sehingga menunjukkan distribusi ukuran gelembung yang heterogen.

Analisis Zeta Potensial

Hasil uji lab untuk zeta potensial dapat dilihat pada Gambar 7 yang merupakan grafik intensitas nilai zeta potensial.



Gambar 7. Grafik Zeta Potensial Gelembung Nano

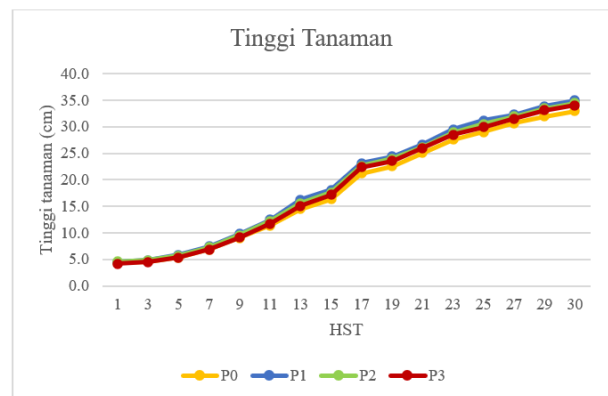
Nilai rata-rata zeta potensial yaitu sebesar -23,3 mV. Hasil tersebut menunjukkan adanya partikel bermuatan listrik yang stabil atau nilai stabilitasnya baik. Dengan keberadaannya yang stabil dalam cairan selama lebih dari beberapa minggu, gelembung nano dapat diaplikasi pada berbagai bidang sains dan teknik. Untuk penggunaan gelembung secara efektif dan fungsional, penting untuk mengetahui alasan stabilitas jangka panjangnya (Meegoda et al, 2018). Mengetahui nilai zeta potensial memungkinkan gelembung untuk tetap berada dalam cairan untuk waktu yang cukup lama (Ulatowski et al, 2019).

Menurut penelitian Alam et al (2021), beberapa penelitian sebelumnya mengukur nilai rata-rata potensi zeta negatif segera setelah pembangkitan berkisar antara -10 hingga -24 mV untuk gelembung nano oksigen, udara, dan nitrogen. Beberapa hasil pengujian menunjukkan perubahan ukuran rata-rata dan penurunan konsentrasi gelembung dalam beberapa hari hingga beberapa bulan. Semakin tinggi nilai

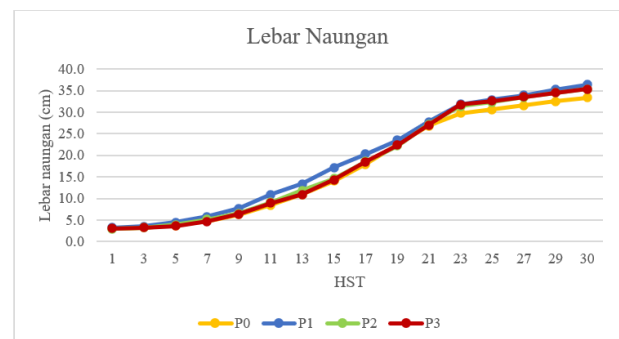
zeta potensial, semakin kuat pula kekuatan tolakan trostatik listriknya. Oleh karena itu, dispersi gelembung larutan dengan potensi zeta tinggi akan stabil. Sebaliknya jika potensial zeta rendah atau mendekati nol maka gelembung akan menjadi tidak stabil dan mudah menyatu (Nirmalkar et al, 2018b).

Penerapan *Nanobubble Generator* Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada

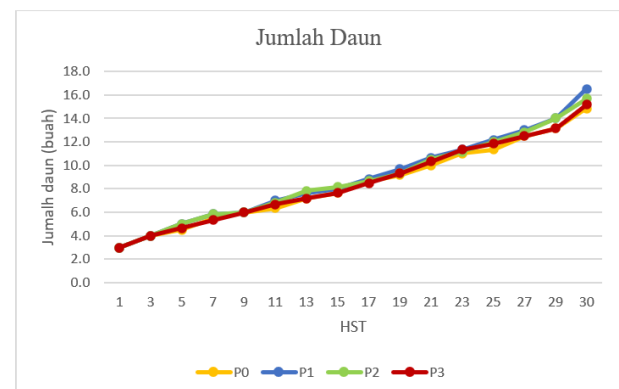
Pembangkitan *nanobubble generator* dilakukan pada pagi hari pukul 08.00. Pada pagi hari tanaman mengalami proses fotosintesis sehingga membutuhkan cahaya matahari dan oksigen yang banyak. Parameter pertumbuhan yang diukur yaitu tinggi tanaman, lebar naungan serta jumlah daun. Grafik pertumbuhannya dapat dilihat pada Gambar 8, 9, dan 10.



Gambar 8. Pertumbuhan Tinggi Tanaman Selada Selama 30 HST



Gambar 9. Pertumbuhan Lebar Naungan Tanaman Selada Selama 30 HST



Gambar 10. Pertumbuhan Lebar Daun Tanaman Selada Selama 30 HST

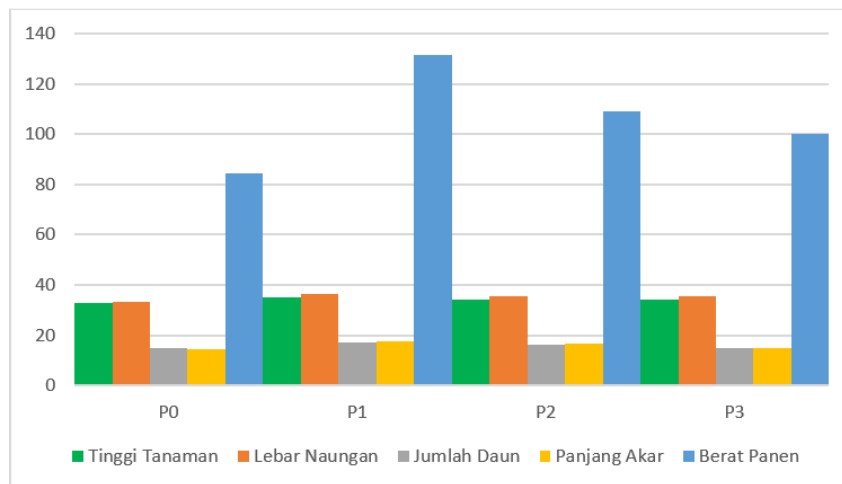
Berdasarkan Gambar 8, nilai tinggi tanaman antar perlakuan tidak berbeda signifikan. Hal tersebut didukung oleh penelitian Sritiontip, C. (2022) yang menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pertumbuhan tinggi tanaman selada pada minggu ke-1 hingga ke-4 antara perlakuan MNBs selama 5 menit dengan kontrol. Selain itu, penelitian Thichuto et al (2022) menemukan bahwa tidak ada perbedaan statistik pertumbuhan batang tomat antara MNBs dengan kontrol pada 14 hingga 49 hari setelah tanam. Gambar 9 merupakan pertumbuhan lebar naungan tanaman antar perlakuan dengan hasil yang berbeda namun tidak terlalu signifikan. Hal tersebut didukung oleh penelitian Sritiontip, C (2022) yang menyatakan bahwa pemberian MNBs berdurasi 5 menit berpengaruh nyata terhadap lebar kanopi selada saat minggu ke-2 dan ke-3. Pada minggu ke-1, 4, dan 5 tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara MNBs dan kontrol. Gambar 10 merupakan grafik jumlah daun pada awal hingga 26 HST tidak terdapat perbedaan signifikan. Namun, terdapat perbedaan cukup nyata antar perlakuannya pada 27-30 HST. Penelitian Sritiontip, C (2022) menyatakan jika jumlah daun tidak berubah secara signifikan, tetapi berinteraksi satu sama lain.

Aplikasi *Nanobubble* secara biologis dengan menunjukkan efek stimulasi pada pertumbuhan berbagai tanaman, salah satunya tanaman sayuran (Wang et al, 2021). Beberapa penelitian yang sudah dilakukan tentang penerapan *nanobubble* pada berbagai jenis tanaman sayur

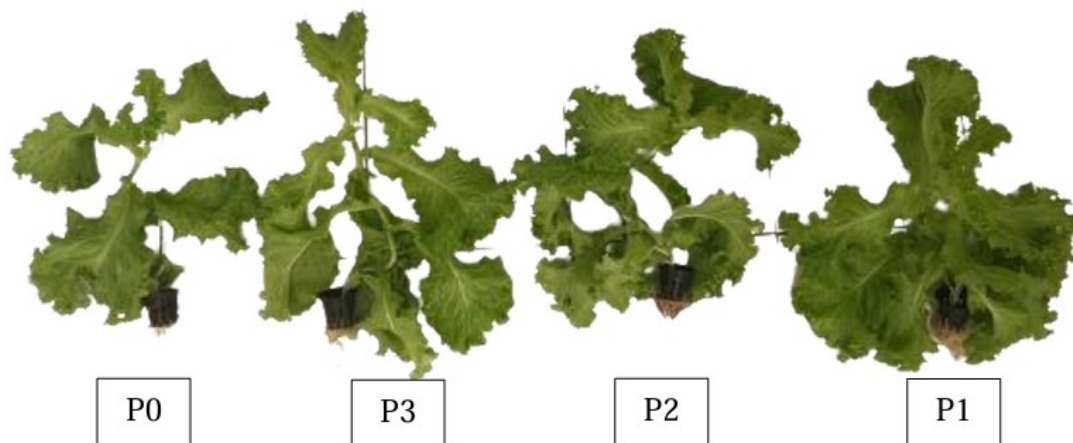
yaitu pertumbuhan kailan dengan hidroponik DFT (Mahendra et al, 2023), pertumbuhan bayam dengan hidroponik DFT (Ikeura et al, 2017), dan pertumbuhan tomat ceri dengan hidroponik DFT (Thichuto et al, 2022). *Nanobubble* dapat berpengaruh terhadap akar tanaman dengan menarik ion bermuatan positif yang terlarut dalam larutan nutrisi, seperti kalsium, magnesium, kalium, dan amonium (Nirmalkar et al, 2018a). Sebagai contoh pada penelitian Wu et al (2019), kandungan nitrogen dan fosfor tanah menjadi lebih meningkat pada tanaman setelah diterapkan *nanobubble* oksigen dalam air, sehingga terjadi peningkatan hasil panen tomat. Selain itu, penelitian Qi et al (2017) menyebutkan bahwa *Reactive Oxygen Species* (ROS) merupakan radikal bebas yang memainkan peran penting dalam pensinyalan sel pada tanaman yang juga mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman. *Nanobubble* dapat menghasilkan ROS, seperti radikal hidroksil (OH), yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan perkecambahan biji (Liu et al, 2014).

Hasil Panen Tanaman Selada

Penggunaan pompa *nanobubble generator* secara berkala pada pertumbuhan selada dengan hidroponik sistem NFT menghasilkan pertumbuhan yang lebih besar daripada selada tanpa perlakuan atau kontrol (P0). Grafik hasil panen tanaman selada dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pertumbuhan Lebar Naungan Tanaman Selada Selama 30 HST



Gambar 12. Pertumbuhan Lebar Naungan Tanaman Selada Selama 30 HST

Pada penelitian ini menghasilkan tinggi tanaman saat panen yang berbeda nyata antara P0 dengan P1 dan P2, dan tidak berbeda nyata terhadap P3. Sedangkan tinggi tanaman perlakuan P1 tidak berbeda nyata dengan P2. Parameter lebar naungan saat panen pada P0 berbeda nyata terhadap P1, P2, dan P3. Lebar naungan P1 berbeda nyata terhadap P2 dan P3, sedangkan P2 tidak berbeda nyata dengan P3. Hal tersebut didukung oleh penelitian Sritiontip, C (2022) yang menyatakan bahwa pemberian MNBs berdurasi 5 menit berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman dan lebar kanopi. Parameter jumlah daun dan panjang akar saat panen pada semua perlakuan tidak berbeda signifikan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Sritiontip C, 2022) yang menyatakan bahwa jumlah daun pada perlakuan MNBs 0 dan 5 menit tidak mengalami perubahan yang nyata. Berbeda halnya dengan parameter panjang akar pada perlakuan MNBs 5 menit terdapat perbedaan yang signifikan. Sedangkan pada penelitian Park et al (2010), menjelaskan bahwa tidak ada perbedaan perkembangan akar pada pertumbuhan selada antara perlakuan 15 dan 60 menit. Berat tanaman saat panen pada P1, P2, dan P3 berbeda nyata terhadap P0. Hal ini sama dengan penelitian Sritiontip, C (2022) yang memaparkan bahwa perlakuan MNBs selama 5 menit menghasilkan bobot segar dan kering daun yang lebih tinggi serta bobot total selada yang lebih tinggi. Sritiontip, C (2022) menyatakan juga bahwa perlakuan MNBs 5 menit dapat meningkatkan oksigen terlarut ke tingkat yang tidak dicapai dengan MNBs air yang tidak diolah (non-MNBs). Penerapan *nanobubble generator* dengan berbagai *intermittent* waktu pembangkitan dapat meningkatkan kadar DO pada larutan nutrisi hidroponik. Gambar 12 merupakan hasil panen setiap perlakuan tanaman selada.

Gambar 12 menunjukkan perbedaan hasil selada pada setiap perlakuan. P0 merupakan perlakuan tanpa *nanobubble generator*. Dapat terlihat perbedaan bentuk dan bobot pada setiap perlakuan. P1 memiliki ukuran paling besar diantara semua perlakuan yaitu dengan bobot segar 131,7 gram. P2 dan P3 terlihat sama karena memiliki bobot segar tidak berbeda nyata yaitu sebesar 109,2 gram dan 100 gram. P0 memiliki bobot segar terkecil yaitu 84,2 gram.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kinerja *nanobubble generator* memiliki diameter gelembung yang dihasilkan sebesar 394,6 nm. Hasil tersebut menunjukkan ukuran gelembung sudah sesuai standar ISO 20480-1:2017 tentang *Fine Bubble Technology*. Nilai indeks polidispersi (PDI) yaitu 1,783 dimana nilai PDI melebihi 0,5 maka menunjukkan distribusi ukuran gelembung yang heterogen. Nilai zeta potensial yaitu -23,3 mV, sehingga memiliki stabilitas yang baik di dalam air. Pengukuran daya, tegangan, dan arus listrik berturut-turut sebesar 98,47 Watt; 230,71 Volt; 0,44 Ampere. Sehingga total biaya listrik yang dikeluarkan sangat kecil yaitu Rp 426,1865 untuk satu masa panen. Pertumbuhan selada paling baik pada parameter berat segar, tinggi tanaman, dan lebar naungan yaitu tanaman selada dengan perlakuan P1 (*generate* setiap 3 hari sekali). Hasil bobot panen selada berbeda signifikan pada setiap perlakuan. P1 memiliki ukuran paling besar diantara semua perlakuan yaitu dengan bobot segar 131,7 gram. P2 memiliki bobot 109,2 gram dan P3 sebesar 100 gram. P0 memiliki bobot segar terkecil yaitu 84,2 gram.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pemberi dana penelitian PDD yang telah memberikan dukungan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, H. S., Sutikno, P., Soelaiman, T. A. F., & Sugiarto, A. T. (2022). Bulk Nanobubbles: generation using a two-chamber swirling flow nozzle and long-term stability in water. *Journal of Flow Chemistry*, 1-13.
- Dwiratna, S., Amaru, K., & Nanda, M. A. (2022). The Potential of Hydroponic Kit-Based Growing on a Self-Fertigation System for Pagoda Mustard (*Brassica narinosa* L.) Production. *The Scientific World Journal*, 2022(1), 1984297.
- Ebina, K., Shi, K., Hirao, M., Hashimoto, J., Kawato, Y., Kaneshiro, S., ... & Yoshikawa, H. (2013). Oxygen and air nanobubble water solution promote the growth of plants, fishes, and mice. *PLoS One*, 8(6), e65339.
- Ikeura, H., Tsukada, K., & Tamaki, M. (2017). Effect of microbubbles in deep flow hydroponic culture on spinach growth. *Journal of Plant Nutrition*, 40(16), 2358-2364.
- ISO 20480-1. 2017. Fine Bubble Technology – General Principles for Usage and Measurement of Fine Bubbles – part 1: Terminology, Geneva: International Organization for Standardization.
- Kobayashi, N., & Yamaji, K. (2022). Leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.'L-121') growth in hydroponics with different nutrient solutions used to generate ultrafine bubbles. *Journal of Plant Nutrition*, 45(6), 816-827.
- Liu, S., Oshita, S., & Makino, Y. (2014). Stimulating effect of nanobubbles on the reactive oxygen species generation inside barley seeds as studied by the microscope spectrophotometer. In *Proceedings. Int. Conf. of Agric. Eng., Zurich* (pp. 06-10).
- Liu, Y., Zhou, Y., Wang, T., Pan, J., Zhou, B., Muhammad, T., ... & Li, Y. (2019). Micro-nano bubble water oxygation: Synergistically improving irrigation water use efficiency, crop yield and quality. *Journal of Cleaner Production*, 222, 835-843.
- Mahendra, H. I., Iswahyono, I., Djamila, S., Bahariawan, A., & Rizkiana, M. F. (2023). Evaluasi Kinerja Generator Microbubble Terhadap Kondisi Nutrisi dan Respon Pertumbuhan Kailan (*Brassica Oleraceae*) Secara Hidroponik Sistem DFT Di Dalam Greenhouse. *JOFE: Journal of Food Engineering*, 2(3), 154-162.
- Meegoda, J. N., Aluthgun Hewage, S., & Batagoda, J. H. (2018). Stability of nanobubbles. *Environmental Engineering Science*, 35(11), 1216-1227.
- Napsah, R. dan Wahyuningsih, I., (2014) Preparasi Nanopartikel Kitosan-Tpp Ekstrak Etanol Daging Buah Mahkota Dewa (*Phaleriamacrocarpa scheff Boerl*) dengan Metode Gelasi Ionik. *Jurnal Farmasi Sains dan Komunitas (Journal of Pharmaceutical Sciences and Community)*, 11(1).
- Nirmalkar, N., Pacek, A. W., & Barigou, M. (2018a). Interpreting the interfacial and colloidal stability of bulk nanobubbles. *Soft matter*, 14(47), 9643-9656.
- Nirmalkar, N., Pacek, A. W., & Barigou, M. (2018b). On the existence and stability of bulk nanobubbles. *Langmuir*, 34(37), 10964-10973.
- Park, J. S., Ohashi, K., Kurata, K., & Lee, J. W. (2010). Promotion of lettuce growth by application of microbubbles in nutrient solution using different rates of electrical conductivity and under periodic intermittent generation in a deep flow technique

- culture system. *European Journal of Horticultural Science*, 75(5), 198.
- Phaengkiao, D., Chaoumead, A., Wangngon, B., & Chumnumwat, S. (2019). The application of nanobubble technology for DRFT hydroponics. *Journal of Innovative Technology Research*, 3(2), 33-41.
- Qi, J., Wang, J., Gong, Z., & Zhou, J. M. (2017). Apoplastic ROS signaling in plant immunity. *Current opinion in plant biology*, 38, 92-100.
- Sari, E., Kitty, Y., & Dwiranti, A. (2016). Sistem hidroponik Nutrient Film Technique (NFT) dan wick pada penanaman bayam merah. *Surya Octagon Interdisciplinary Journal of Technology*, 1(2), 223-225.
- Sritontip, C. (2022). Effects of micro-nano bubbles and electrical conductivity of nutrient solution on the growth and yield of green oak lettuce in a hydroponic production system. *Journal of Science and Agricultural Technology*, 3(1), 16-24.
- Suhl, J., Oppedijk, B., Baganz, D., Kloas, W., Schmidt, U., & van Duijn, B. (2019). Oxygen consumption in recirculating nutrient film technique in aquaponics. *Scientia Horticulturae*, 255, 281-291.
- Thichuto, S., Sritontip, P., Thonglek, V., & Sritontip, C. (2022). Effects of electrical conductivity and micro/nanobubbles in nutrient solutions of hydroponics on growth and yield of cherry tomato. *Journal of Science and Agricultural Technology*, 3(2), 29-36.
- Ulatowski, K., Sobieszuk, P., Mróz, A., & Ciach, T. (2019). Stability of nanobubbles generated in water using porous membrane system. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 136, 62-71.
- Ushikubo, F. Y., Furukawa, T., Nakagawa, R., Enari, M., Makino, Y., Kawagoe, Y., ... & Oshita, S. (2010). Evidence of the existence and the stability of nanobubbles in water. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 361(1-3), 31-37.
- Wang, S., Liu, Y., Lyu, T., Pan, G., & Li, P. (2020). Aquatic macrophytes in morphological and physiological responses to the nanobubble technology application for water restoration. *ACS ES&T Water*, 1(2), 376-387.
- Wang, Y., Wang, S., Sun, J., Dai, H., Zhang, B., Xiang, W., ... & Zhang, W. (2021). Nanobubbles promote nutrient utilization and plant growth in rice by upregulating nutrient uptake genes and stimulating growth hormone production. *Science of the Total Environment*, 800, 149627.
- Wu, Y., Lyu, T., Yue, B., Tonoli, E., Verderio, E. A., Ma, Y., & Pan, G. (2019). Enhancement of tomato plant growth and productivity in organic farming by agri-nanotechnology using nanobubble oxygation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67(39), 10823-10831.
- Yusuf, A., Asdak, C., Muhaemin, M., NP, S. D., Sugianto, A. T., & Alam, H. S. (2024). The Implementation of Micro/Nanobubbles (MNBs) Technology to Treat Basin Water as The Primary Water Source for Hydroponics in Greenhouse. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 13(1), 197-204.

Halaman ini sengaja dikosongkan