

Modifikasi Posisi Injektor Pupuk Venturi Ganda pada Sistem Fertigasi Tetes***Dual Venturi Injector Position Modification in Drip Fertigation System***

Irnando Ferdinand Fransiscus Silaban, Ni Nyoman Sulastri*, Ida Bagus Putu Gunadnya, I Putu Gede Budisanjaya

*Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Bali,
Indonesia*

*email: sulastr@unud.ac.id

Abstrak

Salah satu masalah dalam aplikasi injektor pupuk dalam sistem fertigasi adalah ketidakseragaman distribusi nutrisi dan air. Efektivitas dari injektor pupuk dipengaruhi oleh posisi injektor dan kehilangan tekanan. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi posisi injektor venturi ganda dan membandingkan kinerja posisi injektor ganda vertikal dan horizontal pada irigasi tetes. Uji kinerja ini mencakup keseragaman distribusi air dan nutrisi serta keseimbangan laju injeksi. Pengujian dilakukan pada dua bukaan ball valve, 50% dan 100%, serta untuk keseragaman nutrisi dilakukan pada dua level konsentrasi, 400 - 550 ppm dan 700-850 ppm. Hasil uji kinerja menunjukkan bahwa kedua sistem memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal keseimbangan injeksi, keseragaman konsentrasi nutrisi, dan keseragaman distribusi air. Pada rangkaian vertikal menghasilkan distribusi air yang lebih tinggi dengan nilai coefficiennt uniformity (CU) dan distribution uniformity (DU) yang lebih tinggi dengan nilai CU sebesar 88% dan DU 92%. Uji Wilcoxon rank sum test menunjukkan rangkaian horizontal menghasilkan aliran yang lebih besar ($p>0,05$) pada kedua bukaan ball valve. Dari segi distribusi nutrisi rangkaian horizontal menghasilkan distribusi nutrisi dengan nilai CU dan DU yang lebih baik ($\pm 99\%$) dan hasil simulasi menggunakan interpolasi linier pada program Python yang lebih stabil. Dapat disimpulkan bahwa modifikasi rangkaian injektor venturi ganda horizontal menghasilkan debit injeksi yang seimbang pada kedua injektor dengan keseragaman distribusi nutrisi yang lebih baik. Sementara rangkaian vertikal masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk menghasilkan hasil yang lebih optimal.

Kata Kunci : *Fertigasi, Injektor venturi, Debit aliran, Irigasi tetes, Keseragaman nutrisi.*

Abstract

One of the issues in the application of fertilizer injectors in fertigation systems is the non-uniform distribution of nutrients and water. The effectiveness of fertilizer injectors is influenced by the injector's position and pressure loss. This study aimed to modify the position of the dual venturi injector and compare the performance of vertical and horizontal dual injector configurations in drip irrigation. The performance tests included the uniformity of water and nutrient distribution as well as the uniformity of injection rates. Testing was conducted using two *ball valve* openings, 50% and 100%, and for nutrient uniformity, two concentration levels were employed: 400–550 ppm and 700–850 ppm. The performance test results indicated that both systems exhibit different characteristics in terms of water distribution, nutrient concentration uniformity, and emitter uniformity. The vertical configuration produced a higher water distribution with higher coefficient uniformity (CU) and distribution uniformity (DU) values, specifically a CU of 88% and a DU of 92%. The *Wilcoxon rank sum test* indicated that the horizontal configuration produced a larger flow ($p > 0.05$) at both *ball valve* openings. In terms of nutrient distribution, the horizontal configuration produced a more favourable nutrient distribution with CU and DU values of approximately 99% and yielded more stable simulation results using Phyton linear interpolation. It can be concluded that the modification of the horizontal double venturi injector circuit produces a balanced injection discharge in both injectors with better nutrient distribution uniformity. While the vertical circuit still requires further research to produce more optimal results.

Keywords: *Fertigation, Venturi injector, Flow discharge, Drip irrigation, Nutrient uniformity*

PENDAHULUAN

Sistem fertigasi merupakan teknologi penting dalam pertanian modern yang memungkinkan pemberian nutrisi dan air secara bersamaan langsung ke tanaman. Sistem fertigasi menyalurkan nutrisi melalui irigasi

tetes atau metode penyiraman lainnya. Metode ini terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dan air serta mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal (Naswir et al., 2009). Saat ini, sistem fertigasi konvensional masih umum dilakukan. Sistem ini tidak

efisien dalam penggunaan pupuk (Djunaedi et al., 2013). Salah satu inovasi yang dilakukan dalam menanggulangi permasalahan tersebut yaitu dengan penggunaan injektor tipe venturi. Prinsip venturi ini sangat memungkinkan pencampuran pupuk dengan air irigasi secara langsung selama proses penyiraman berlangsung (Sholachuddin et al., 2015). Aplikasi sistem fertigasi dengan sistem injeksi pupuk venturi membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memahami kinerja dan kemampuan secara mendalam yaitu faktor-faktor yang berpengaruh seperti kehilangan tekanan, debit aliran dan terutama dalam hal efisiensi dan keseragaman distribusi nutrisi (Naswir et al., 2009).

Sistem injeksi pupuk dengan menggunakan 2 (dua) injektor venturi yang dirangkai secara seri dan paralel menunjukkan kinerja sistem fertigasi yang berbeda. Tinggi tekan pada salah satu cabang venturi yang dirangkai secara seri sangat rendah menyebabkan aliran pupuk tidak dapat terhisap. Pada percobaan uji kinerja rangkaian paralel, alat memungkinkan mampu melakukan penyesuaian dosis pupuk melalui penyesuaian ketinggian hisap larutan nutrisi. Uji coba sistem menunjukkan rasio nutrisi berbanding terbalik dengan ketinggi hisap (Lanya et al., 2020). Namun pada rangkaian injektor venturi yang dirangkai paralel, terjadi perbedaan tinggi tekan antara sebelum dan sesudah penempatan venturi, yang memungkinkan penghisapan larutan pupuk tidak seimbang antara kedua injektor. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pada rangkaian paralel pembagian tekanan pada kedua injektor tidak sama, sehingga salah satu injektor menerima tekanan terlebih dahulu lalu disusul injektor lainnya. Selain itu terindikasi bukaan keran pada uji kinerja tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap rasio nutrisi yang mengurangi fleksibilitas dalam pengaturan dosis.

Sistem fertigasi sering diaplikasikan pada jenis irigasi tetes (*drip irrigation*). Untuk mengefisiensikan penggunaan cairan fertigasi yang akan digunakan pada tanaman, biasanya dilakukan dengan menggunakan metode 3 fertigasi otomatis atau menggunakan metode tetes (Rosma et al., 2021). Penggunaan tenaga manusia (petani) ketika melakukan pemberian air masih secara konvensional tanpa adanya pengukuran rinci. Hal ini berdampak kurang baik pada penggunaan air dan pupuk serta akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman (Isa, 2023). Pupuk yang diberikan secara fertigasi dengan irigasi tetes menyebar rata dan seragam ke sistem perakaran tanaman dan mengefisiensikan pemberian dosis sehingga dosis yang diberikan dapat diberikan sesuai dengan kebutuhan tanaman dan sesuai dengan tahap pertumbuhannya. Jika diaplikasikan dalam sistem irigasi tetes atau fertigasi dapat menjaga kesegaran daun dan meningkatkan jumlah dan mutu hasil panen (Hochmuth, 1992). Pemanfaatan irigasi tetes pada

fertigasi harus secara merata pada seluruh areal tanaman. Hal ini dapat ditandai dengan variasi debit yang rendah dan nilai koefisien keseragaman (efisiensi distribusi air) yang tinggi. Nilai koefisien keseragaman air yang rendah menunjukkan terjadi banyak emitter yang tersumbat dan masalah pada pengatur tekanan dalam jaringan irigasi tetes, koefisien keseragaman air irigasi merupakan indikator penting dalam evaluasi kinerja suatu sistem irigasi (Idrus et al., 2018). Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan penelitian yang lebih lanjut terhadap modifikasi sistem fertigasi menggunakan injeksi pupuk venturi ganda yang bertujuan untuk memodifikasi sistem fertigasi menggunakan injektor venturi ganda dan menentukan kinerja hasil modifikasi sistem fertigasi menggunakan injektor venturi ganda.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Sistem dan Manajemen Teknik Pertanian dan Biosistem serta Laboratorium Pengelolaan Sumber Daya Alam Pertanian dan Lingkungan, Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana pada bulan Agustus - Februari tahun 2025.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari pipa PVC $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ Inc, sambungan pipa T dan L, selang HDPE 20 dan 7 mm, lem pipa, nutrisi *goodplant*, pipa besi, selotip pipa, mur pipa, filter air, mikro konektor, klem.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari gergaji potong, gelas ukur, amplas, *pressure gauge*, injektor venturi $\frac{3}{4}$ inc, gunting, meteran, flowmeter, roll meter, penggaris, *ball valve*, *screen filter*, *emitter*, tangki air 250 L, wadah air 5 L, wadah 2,5 L.

Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian melakukan modifikasi perancangan pada konfigurasi rangkaian posisi sistem fertigasi injektor venturi ganda horizontal dan perancangan pada konfigurasi rangkaian posisi sistem fertigasi injektor venturi ganda vertikal. Modifikasi utama yang dilakukan pada rangkaian horizontal adalah pada percabangan rangkaian paralel injektor. Modifikasi ini dilakukan untuk mengatasi masalah pembagian tekanan yang tidak seimbang antara venturi 1 dan venturi 2 yang ditemui pada penelitian sebelumnya. Kedua rangkaian memiliki komponen utama yang sama yaitu unit tangki ar 250

L, wadah nutrisi 5 L, dan pompa dengan output 125 W, pipa pvc ¾ inc, injektor venturi, selang HDPE dengan 4 lateral masing-masing sepanjang 1,5 meter dan memiliki 5 emitter disetiap lateralnya dengan jarak 30 cm tiap emitter. Kedua rangkaian masing-masing dilengkapi 6 pressure gauge yang berfungsi untuk mengukur tekanan di setiap titik kritis sistem. Pengujian kinerja alat dilakukan dengan memvariasikan dua bukaan ball valve pada awal rangkaian sistem fertigasi dengan bukaan 50 dan 100% serta dengan 2 rentang konsentrasi yaitu 400-550 ppm dan 700-850 ppm. Parameter yang diamati pada uji kinerja alat mencakup laju irigasi yang diukur menggunakan flowmeter, perbedaan tekanan, laju penginjeksian injektor, kemerataan distribusi air irigasi dan keseragaman konsentrasi nutrisi. Metode pengambilan data pada uji kinerja dilakukan dengan mengukur volume larutan nutrisi yang berkurang selama 5 menit, menampung volume air pada setiap emitter dan mengukur konsentrasi larutan nutrisi menggunakan TDS meter.

Analisis Data

Pengolahan data hasil uji kinerja sistem fertigasi meliputi analisis statistik Wilcoxon rank sum test untuk mengetahui perbedaan median pada debit yang dapat dihitung pada dua perlakuan bukaan *ball valve* dan posisi setiap injektor, *Coefficient Uniformity* (CU) dan *Distribution Uniformity* (DU) untuk mengetahui kemerataan distribusi air dan nutrisi,

interpolasi linear menggunakan program Python untuk memvisualisasikan pendistribusian nutrisi melalui sistem fertigasi ke setiap tanaman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi Modifikasi Sistem Fertigasi

Sistem fertigasi injektor venturi ganda dengan posisi horizontal (*Gambar 1*) memiliki dimensi panjang keseluruhan dengan irigasi tetes 510 cm, lebar 180 cm dan tinggi 87 cm. Sistem fertigasi dengan posisi horizontal pada penerapan sistem irigasi tetes terdiri pompa, tangki 250 L, wadah larutan nutrisi 5 L, wadah emitter 1 L, pipa pvc ¾ inc, pipa pvc ½ inc, selang HDPE 20 mm, selang HDPE 7 mm, sambungan L, sambungan T, *ball valve*, *Disk Filter*, sambungan ¾ ke ½ inc, *emitter*, *micro konektor*, injektor venturi, *pressure gauge*, flowmeter, dan TDS meter. Pada rangkaian horizontal (H) menghasilkan debit rata-rata aliran irigasi 2,48 L/menit. Kehilangan tinggi dari awal sampai akhir sistem sebesar 4,58 PSI dimana tekanan pada M1 bernilai rata-rata 6,58 PSI dan tekanan pada titik outlet (M6) bernilai 2 PSI. Hasil modifikasi menunjukkan bahwa modifikasi rangkaian injektor venturi ganda horizontal menghasilkan *headloss* atau debit penginjeksian pada kedua injektor yang seimbang dimana debit hasil injeksi larutan pada injektor 1 dan 2 menghasilkan rata-rata bernilai 0,7 L/menit.



Gambar 1. Sistem fertigasi injektor venturi ganda posisi horizontal

Sistem fertigasi menggunakan dua injektor venturi posisi vertikal (*Gambar 2*) memiliki dimensi panjang keseluruhan dengan irigasi tetes 500 cm lebar 180 cm dan tinggi 129 cm. Perbedaan antara kedua sistem hanya dilakukan pada posisi injektor venturi. Pada rangkaian vertikal (V) menghasilkan debit rata-rata aliran irigasi 2,47 L/menit. Kehilangan tinggi dari

awal sampai akhir sistem sebesar 4,58 PSI dimana tekanan pada M1 bernilai rata-rata 6,58 PSI dan tekanan pada titik outlet (M6) sebesar 2 PSI. Debit hasil injeksi larutan pada injektor 1 menghasilkan rata-rata sebesar 0,67 L/menit dan injektor 2 menghasilkan debit rata-rata sebesar 0,6 L/menit.



Gambar 2. Sistem fertigasi injektor venturi ganda posisi vertikal.

Pengujian Kinerja Sistem Fertigasi

Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan debit aliran irigasi seiring dengan berkurangnya bukaan *ball valve*. Dari hasil tersebut didapatkan bahwa hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya dimana pengurangan bukaan katup pada sistem irigasi dapat menurunkan laju aliran air karena meningkatnya hambatan aliran (Helal et al., 2020).

Tabel 1. Debit aliran sistem fertigasi pada bukaan ball valve dan posisi injektor yang berbeda

Bukaan ball valve	Horizontal	Vertikal
50%	2,23 L/menit	1,98 L/menit
100%	2,48 L/menit	2,47 L/menit

Tabel 2 menunjukkan bahwa penurunan tekanan dari bukaan *ball valve* 100% ke 50% pada rangkaian vertikal cenderung lebih besar dibandingkan pada rangkaian horizontal. Pada rangkaian vertikal penurunan tekanan pada M1 dari bukaan 100% ke 50% sebesar 2,17 PSI sedangkan pada rangkaian horizontal sebesar 0,92 PSI. Berdasarkan uraian hasil data tersebut menunjukkan bahwa ketika bukaan *ball valve* 50% *head loss* meningkat jika dibandingkan dengan bukaan *ball valve* 100%, hal ini dikarenakan tekanan awal yang lebih tinggi akan

menghasilkan aliran yang lebih turbulen, peningkatan gesekan dan kehilangan tekanan didalam sistem (Sulhairi et al., 2020). Hal ini mengindikasikan bahwa ketika bukaan *ball valve* dikurangi maka laju aliran akan menurun yang mengakibatkan energi kinetik berkurang, selain itu penurunan ini disebabkan tambahan kontribusi dari tekanan hidrostatik dan kehilangan energi akibat gesekan yang terjadi (Saleta et al., 2004).

Tabel 2. Tekanan sebelum dan sesudah sistem fertigasi pada bukaan ball valve dan posisi injektor yang berbeda.

Bukaan ball valve	Horizontal		Vertikal	
	M1	M6	M1	M6
50%	7,5	1,41	8,75	1
100%	6,58	2	6,58	2

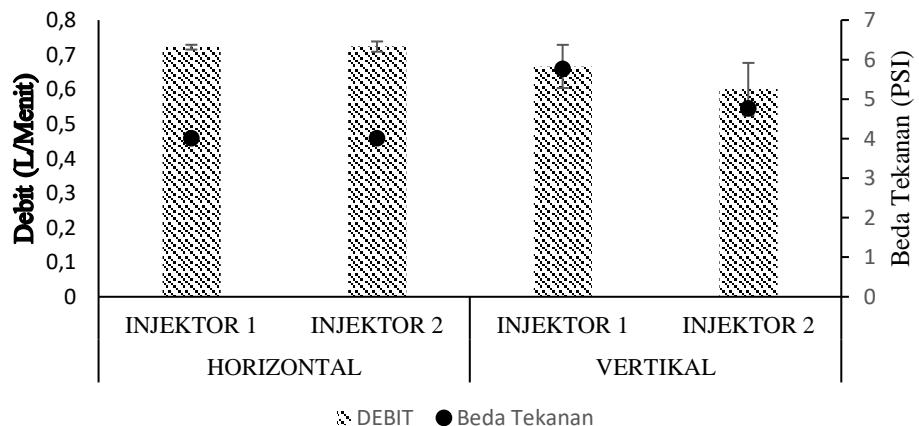
Tabel 3 menunjukkan pada penelitian sebelumnya terdapat ketidakseimbangan tekanan yang jelas antara injektor venturi 1 dan injektor venturi 2, baik pada bukaan ball valve 50% maupun 100%. Tekanan di titik M2 (sebelum injektor 1) selalu lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan di titik M3 (sebelum injektor 2), menunjukkan distribusi aliran yang tidak merata. Setelah dilakukan modifikasi, perubahan utama yang terlihat adalah keseimbangan tekanan pada kedua injektor.

Tabel 3. Perbandingan hasil kinerja tekanan rangkaian paralel pada fertigasi horizontal

Bukaan ball valve	Penelitian Sebelumnya			Hasil Modifikasi		
	M2 sebelum injektor 1 (psi)	M3 sebelum injektor 2 (psi)	M4 & M5 sesudah injektor (psi)	M2 sebelum injektor 1 (psi)	M4 sebelum injektor 2 (psi)	M3 & M5 sesudah injektor (psi)
50%	14,06	13,48	7,25	2,5	2,5	0
100%	13,05	12,03	5,8	4	4	0

Laju Penginjeksian Injektor

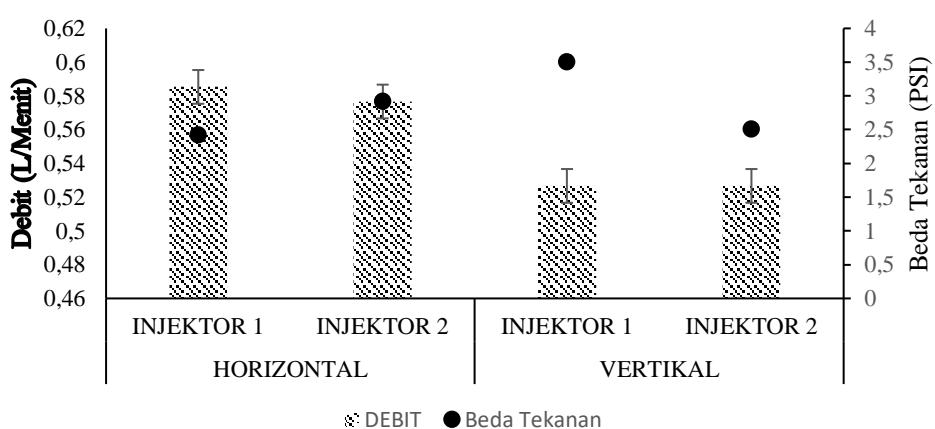
Gambar 3 menunjukkan debit injektor yang dapat dihisap serta beda tekanan pada saat bukaan *ball valve* 100%. Pada konfigurasi horizontal kedua injektor memiliki hasil debit yang hampir sama yaitu berkisar 0,7 L/menit dengan beda tekanan pada *pressure gauge* (M2 & M4) sebelum memasuki kedua injektor tidak berbeda jauh. Hal ini mengindikasikan bahwa jika tekanan kedua *pressure gauge* sebelum kedua injektor hampir sama yang menghasilkan hasil injeksi yang seimbang pula. Sementara itu pada konfigurasi vertikal debit penginjeksian injektor



Gambar 3. Debit aliran nutrisi dan beda tekanan injektor pada bukaan ball valve 100%

Gambar 4 menunjukkan perbandingan debit dan beda tekanan pada kedua modifikasi sistem fertigasi yaitu posisi horizontal dan vertikal bukaan 50%. Jika dibandingkan dengan grafik bukaan *ball valve* 100% terjadi penurunan debit pada semua konfigurasi ketika bukaan *ball valve* diturunkan ke bukaan 50%. Pada bukaan *ball valve* 50% debit injeksi hanya

cenderung lebih rendah dibandingkan dengan modifikasi posisi injektor horizontal terutama pada injektor 2. Selain itu beda tekanan pada *pressure gauge* (M2 & M4) sebelum memasuki kedua injektor 1 dan 2 terindikasi cukup berbeda yang mengindikasikan bahwa hasil injeksi tidak seimbang antara kedua injektor. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh pada desain rangkaian aliran terlebih dahulu melewati aliran untuk injektor 1 kemudian melewati aliran injektor 2, hal ini berbeda dari desain rangkaian horizontal dimana aliran langsung terbagi 2 secara langsung pada kedua injektor.



Gambar 4. Debit aliran nutrisi dan beda tekanan injektor pada bukaan ball valve 50%

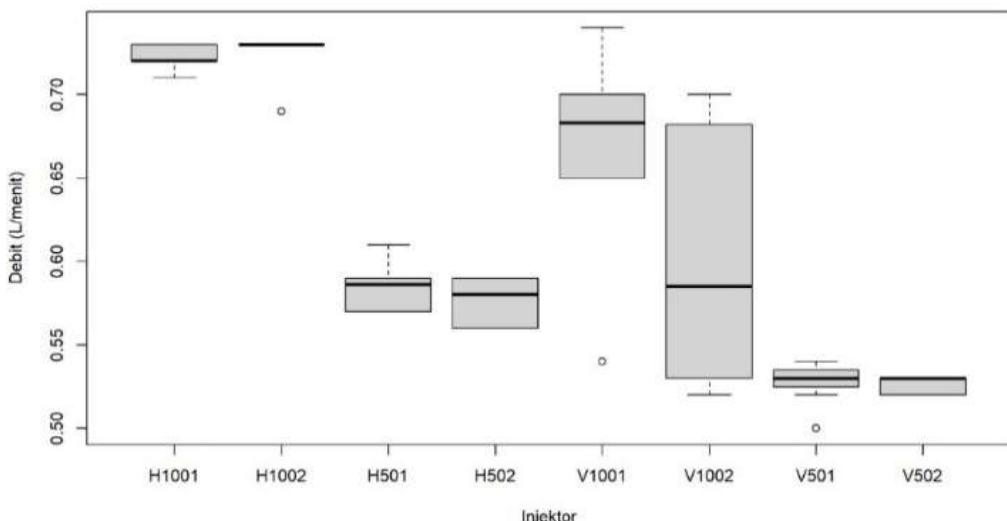
Gambar 5 menunjukkan nilai distribusi debit aliran nutrisi pada setiap injektor, bukaan *ball valve* dan posisi injektor dengan analisis data Wilcoxon rank sum test dengan program R-studio. Secara umum posisi injektor horizontal dengan bukaan *ball valve*

menghasilkan 0,58 L/menit. Begitu pula pada rangkaian vertikal terjadi penurunan debit dari sekitar 0,6 menjadi 0,5 L/menit, hal ini terbukti nyata dikarenakan kapasitas hisap injektor venturi meningkat seiring dengan peningkatan tekanan masuk.

100% (H1001 dan H1002) menghasilkan debit aliran injektor tertinggi dengan rentang interkuartil yang kecil, yang mengindikasikan bahwa rangkaian horizontal dengan bukaan 100% memiliki variabilitas yang rendah atau nilai hasil uji coba cenderung

menyerupai nilai median, dalam hal ini konsistensi aliran pada sistem cukup baik dan stabil. Baik pada rangkaian posisi horizontal maupun vertikal, bukaan *ball valve* 50% (H50 dan V50) menghasilkan debit yang lebih rendah dibandingkan dengan bukaan *ball*

valve 100% (H100 dan V50). Semakin kecil bukaan *ball valve* semakin rendah pula tekanan aliran pada injektor yang mengakibatkan debit penginjeksian yang menurun pula (Huang et al., 2009).

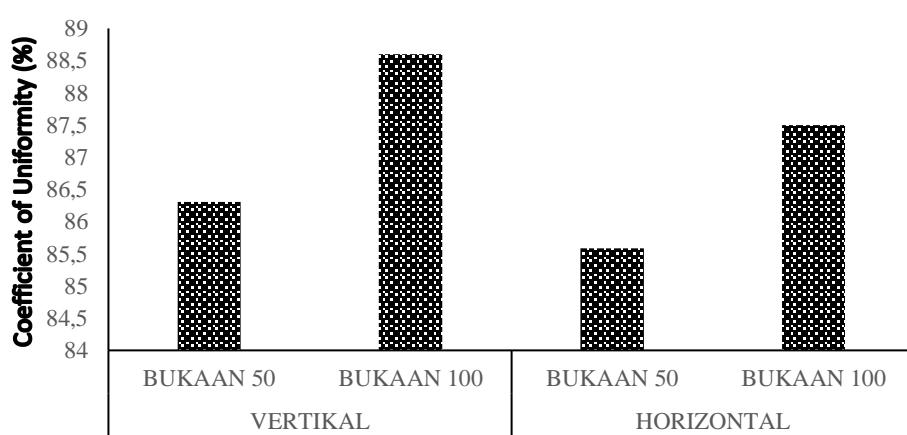


Gambar 5. Variasi Debit aliran nutrisi pada injektor venturi ganda

Coefficient of Uniformity (CU)

Gambar 6 menunjukkan Nilai CU debit air pada sistem irigasi tetes pada dua rangkaian sistem fertigasi menggunakan injektor venturi ganda yaitu rangkaian horizontal dan vertikal dengan 2 bukaan *ball valve*. Grafik menunjukkan pada rangkaian vertikal bukaan *ball valve* 100% menghasilkan nilai CU tertinggi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan bukaan *ball valve* pada rangkaian vertikal dapat meningkatkan keseragaman distribusi air pada emitter. Pada rangkaian vertikal dengan bukaan *ball valve* 50% menghasilkan nilai CU yang

lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi air pada sistem irigasi tetes kurang seragam ketika bukaan *ball valve* dikurangi. Pada rangkaian horizontal, nilai CU cenderung lebih rendah dibandingkan pada rangkaian vertikal terutama pada bukaan *ball valve* 50%, dimana pada bukaan 50% memiliki nilai CU yang paling rendah dibandingkan kondisi lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi air pada horizontal lebih rendah dibandingkan rangkaian vertikal, terutama pada saat bukaan *ball valve* dikurangi menjadi 50%.



Gambar 6. Koefisien keseragaman debit aliran air pada emitter (CU)

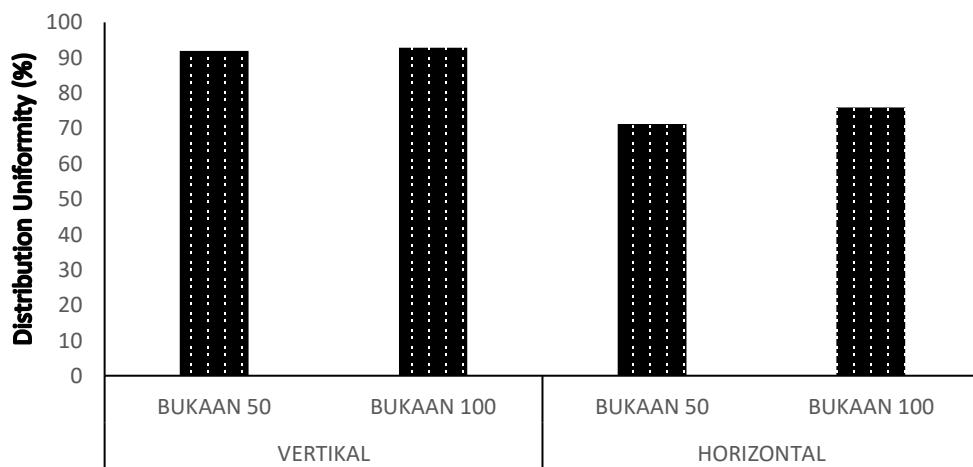
Gambar 7 menampilkan perbandingan distribusi uniformitas (DU) hasil antara dua rangkaian sistem fertigasi menggunakan injektor venturi ganda yaitu rangkaian horizontal dan vertikal dalam 2 bukaan *ball*

valve yaitu 50 dan 100%. Nilai DU pada sistem fertigasi merepresentasikan seberapa merata distribusi konsentrasi nutrisi pada sistem irigasi tetes, khususnya berdasarkan bagian emitter yang

mendapatkan jumlah nutrisi paling sedikit (Maroufpoor et al., 2010).

Gambar 7 menunjukkan bahwa pada rangkaian vertikal bukaan *ball valve* 100% menghasilkan nilai DU tertinggi sekitar 92%. Nilai DU pada sistem fertigasi merepresentasikan seberapa merata distribusi konsentrasi nutrisi pada sistem irrigasi tetes, khususnya berdasarkan bagian emitter yang mendapatkan jumlah nutrisi paling sedikit (Maroufpoor et al., 2010). Hasil serupa juga didapatkan pada bukaan *ball valve* 50% pada

rangkaian vertikal dimana didapatkan nilai DU mencapai 91%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada rangkaian vertikal menghasilkan distribusi air yang lebih tinggi dan memiliki keseragaman yang lebih konsisten antara bukaan *ball valve*. Sementara itu, pada rangkaian horizontal, nilai DU relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan rangkaian vertikal. Pada rangkaian horizontal bukaan *ball valve* 50% menunjukkan nilai sekitar 71%. Sedangkan pada bukaan *ball valve* 100% memperlihatkan nilai DU sekitar 75%.

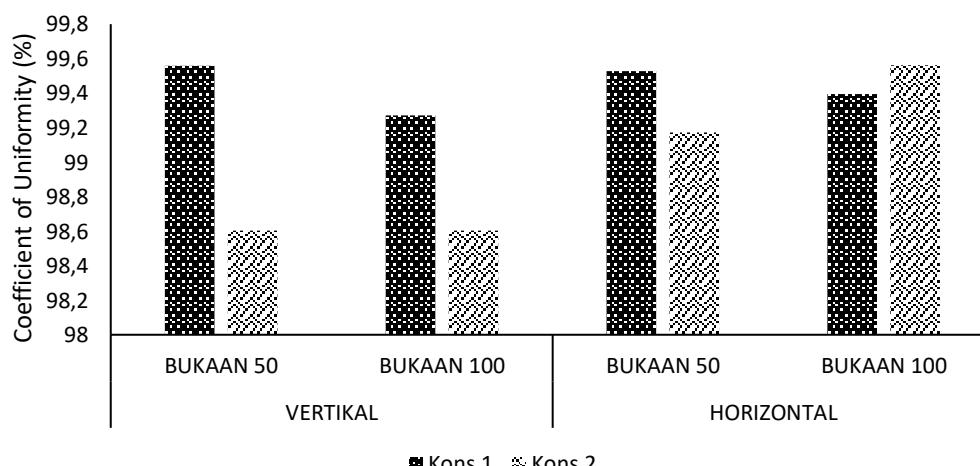


Gambar 7. Keseragaman distribusi air pada emitter

Keseragaman Konsentrasi Nutrisi

Gambar 8 menunjukkan nilai CU konsentrasi nutrisi pada rangkaian sistem fertigasi menggunakan injektor venturi ganda pada posisi horizontal dan vertikal, pada bukaan *ball valve* 50% dan 100% dan pada 2 rentang konsentrasi. Analisis data menunjukkan pada rangkaian horizontal nilai CU cenderung lebih stabil dan tinggi dibandingkan

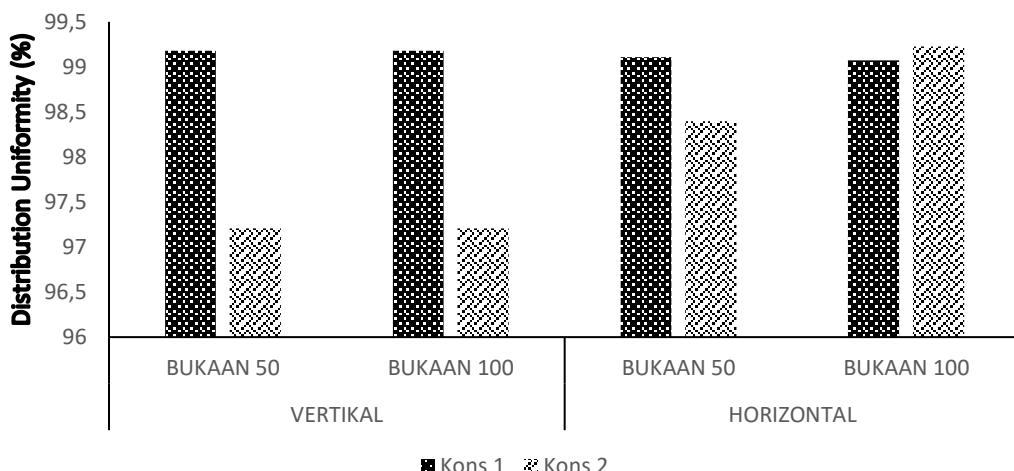
rangkaian vertikal. Pada bukaan *ball valve* 100% menunjukkan peningkatan uniformitas dibandingkan dengan bukaan *ball valve* 50%, terutama pada konsentrasi 2. Nilai *coefficient of uniformity* yang cukup tinggi pada data secara keseluruhan mengindikasikan bahwa sistem ini telah mencapai standar keseragaman yang cukup baik untuk pengaplikasian nutrisi (Suprapto et al., 2024).



Gambar 8. Nilai coefficient of uniformity (CU) konsentrasi nutrisi pada emitter

Gambar 9 menampilkan perbandingan keseragaman konsentrasi nutrisi pada emitter atau Distribution Uniformity (DU). Pada rangkaian horizontal, nilai DU menunjukkan tren yang lebih stabil dan tinggi jika dibandingkan dengan rangkaian vertikal. Pada bukaan *ball valve* 50% perbedaan nilai DU relatif kecil antara konsentrasi 1 dan konsentrasi 2. Sedangkan pada bukaan *ball valve* 100% kedua

pengulangan pada konsentrasi yang berbeda menunjukkan nilai yang hampir sama dan merupakan nilai tertinggi dari seluruh pengulangan yang dilakukan. Pada rangkaian vertikal, nilai DU pada bukaan *ball valve* 50% menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara konsentrasi 1 dan konsentrasi 2, dimana konsentrasi 1 menunjukkan tingkat keseragaman yang lebih tinggi.

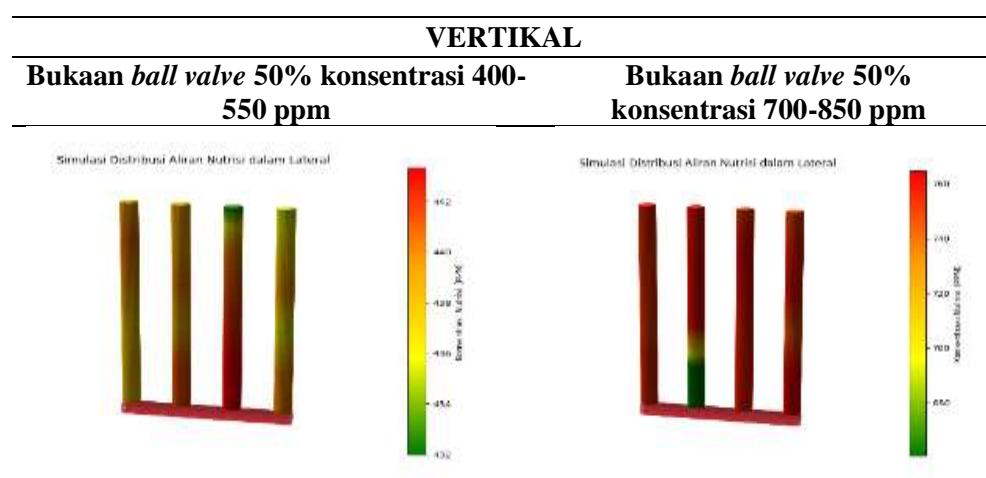


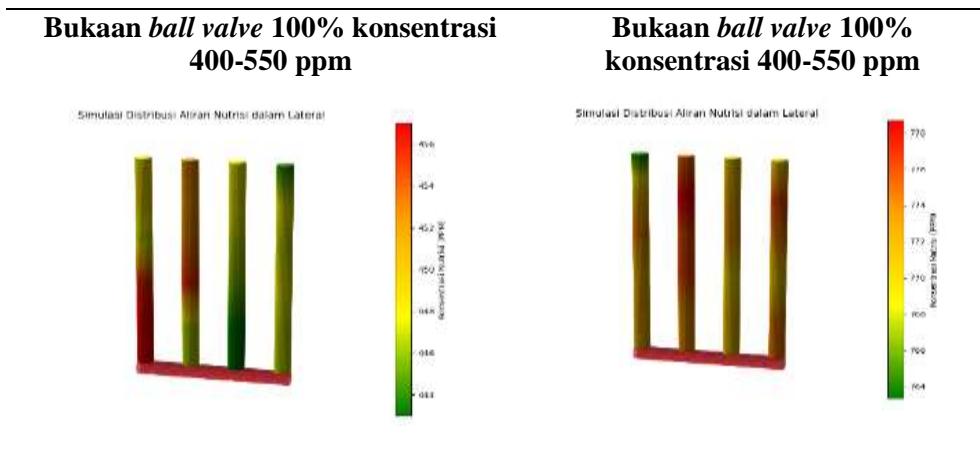
Gambar 9. Nilai distribution uniformity (DU) konsentrasi nutrisi pada emitter

Simulasi Penyebaran Larutan Nutrisi Pada Emitter Tiap Lateral

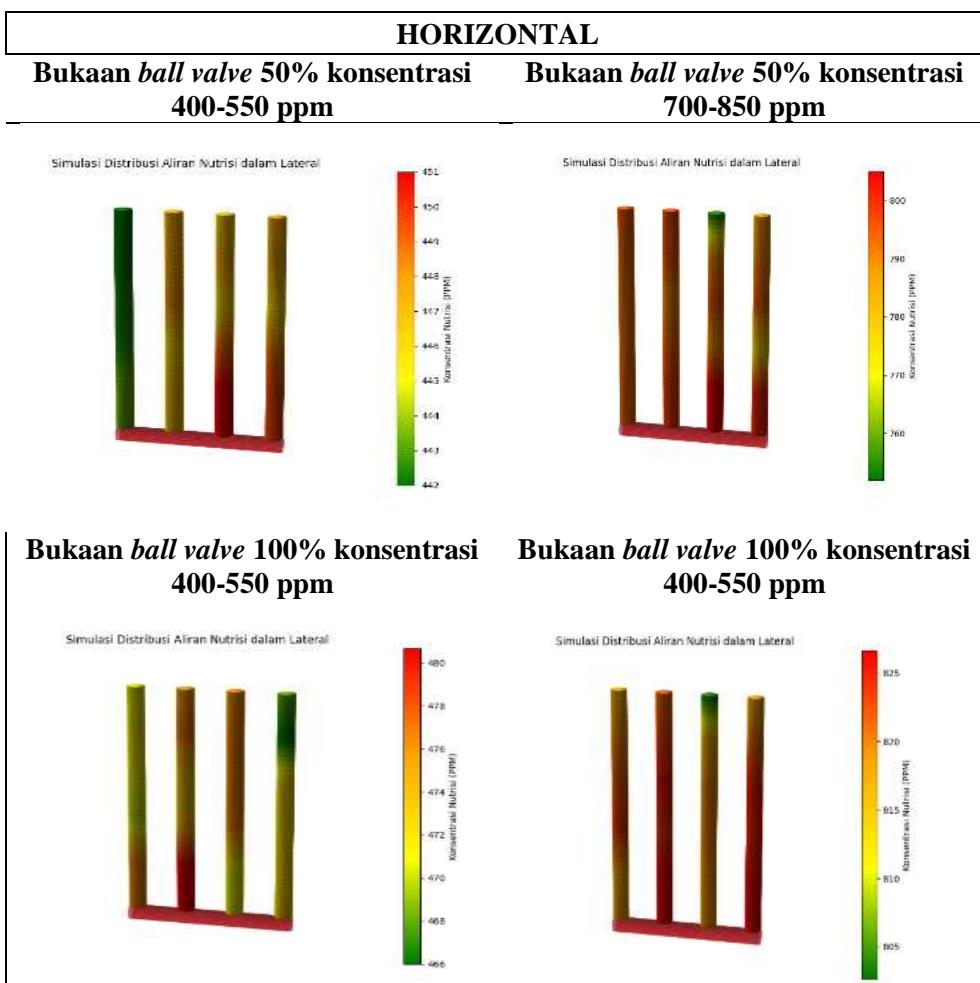
Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan pada rangkaian horizontal dengan 2 bukaan ball valve dan 2 rentang konsentrasi nutrisi, hasil simulasi menunjukkan bahwa bagian pangkal lateral memiliki konsentrasi larutan nutrisi yang lebih tinggi jika dibandingkan pada bagian ujung lateral. Hal ini menunjukkan efek penurunan tekanan dan pencampuran aliran sepanjang pipa lateral yang mengakibatkan konsentrasi larutan nutrisi menurun seiring bertambahnya jarak (Negera et al., 2024).

Namun secara keseluruhan pada rangkaian horizontal menunjukkan pola distribusi yang lebih seragam di sepanjang lateral. Pada rangkaian vertikal, pola penyebaran nutrisi dalam rangkaian vertikal cenderung lebih bervariasi antar lateral dibandingkan dengan rangkaian horizontal terutama pada bukaan *ball valve* 100% dimana adanya beberapa lateral menujukkan perbedaan konsentrasi yang cukup signifikan. Namun pada rangkaian vertikal bukaan *ball valve* 50% terlihat menunjukkan pola distribusi nutrisi yang lebih merata dibandingkan dengan bukaan *ball valve* 100%





Gambar 10. Simulasi distribusi larutan nutrisi rangkaian vertical.



Gambar 11. Simulasi distribusi larutan nutrisi rangkaian Horizontal

KESIMPULAN

Hasil modifikasi sistem fertigasi injektor venturi ganda rangkaian horizontal menghasilkan *headloss* yang seimbang, atau menghasilkan debit penginjeksian yang seimbang pada kedua injektor, dimana pada injektor 1 dan 2 menghasilkan rata-rata bernilai 0,7 L/menit. Pada rangkaian horizontal (H) menghasilkan debit rata-rata aliran irigasi 2,48 L/menit. Kehilangan tekanan

sepanjang sistem sebesar 4,58 psi. Sedangkan pada rangkaian vertikal (V) menghasilkan debit rata-rata aliran irigasi 2,47 L/menit. Kehilangan tekanan sepanjang sistem sebesar 4,58 psi. Debit hasil injeksi larutan nutrisi pada injektor 1 menghasilkan rata-rata 0,67 L/menit dan injektor 2 menghasilkan rata-rata 0,6 L/menit

Berdasarkan uji kinerja sistem fertigasi kedua sistem memiliki karakteristik yang berbeda. Dari segi distribusi air irigasi, sistem fertigasi dengan

injektor ganda vertikal menghasilkan distribusi air yang lebih seragam dengan nilai CU dan DU pada rangkaian vertikal adalah 88% dan 92%, sedangkan pada rangkaian horizontal 87% dan 75%. Dari segi laju penginjeksian injektor sistem fertigasi dengan menggunakan posisi injektor ganda horizontal menghasilkan debit injeksi injektor yang lebih besar ($p<0,05$) dan seimbang antara injektor 1 dan 2 yaitu 0,7 L/menit. Dari segi distribusi konsentrasi nutrisi rangkaian horizontal menunjukkan pola distribusi yang lebih seragam di sepanjang lateral dengan nilai CU dan DU $>99\%$, sementara rangkaian vertikal cenderung mengalami variasi konsentrasi yang cukup besar terutama terdapat pada beberapa lateral ada perbedaan konsentrasi yang cukup signifikan

DAFTAR PUSTAKA

- Djunaedi, A. F., & Wicaksono, M. A. (2013). Penyuluhan dan pembuatan pupuk organik untuk meningkatkan produksi hasil panen. *Jurnal Inovasi Dan Kewirausahaan*, 2, 212–216.
- Helal, E., Abdelhaleem, F. S., & Elshenawy, W. A. (2020). Numerical assessment of the performance of bed water jets in submerged hydraulic jumps. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 146(7). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001475](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001475)
- Hochmuth, G. J. (1992). Fertilizer management for drip-irrigated vegetables in Florida. *Hort Technology*, 2(1), 27–32. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.2.1.27>
- Huang, X., Li, G., & Wang, M. (2009). CFD simulation to the flow field of venturi injector. *Computer and Computing Technologies in Agriculture II*, 294, 805–815. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0211-5_3
- Idrus, M., Velthuzend, A., Kuswadi, D., Suprapto, S., & Darmaputra, I. G. (2018). Kinerja irigasi tetes tipe emiter aries pada tanaman pisang cavendhis di Pt Nusantara Tropical Farm. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 18(1), 33. <https://doi.org/10.25181/jppt.v18i1.342>
- Isa, F. I. (2023). *Analisis sistem irigasi tetes otomatis (automatic drip irrigation) dan kebutuhan fertigasi pada tanaman hortikultura (greenhouse Keboenumiku Cibodas-Lembang)* [Universitas Komputer Indonesia]. <http://elibrary.unikom.ac.id/id/eprint/8888>
- Lanya, B., Laksono, P. A., Amin, M., & Zahab, R. (2020). Rancang bangun sistem fertigasi dengan menggunakan venturimeter. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 9(2), 122. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9i2.122-130>
- Maroufpoor, E., Faryabi, A., Ghamarnia, H., & Moshrefi, G. Y. (2010). Evaluation of uniformity coefficients for sprinkler irrigation systems under different field conditions in Kurdistan Province (northwest of Iran). *Soil and Water Research*, 5(4), 139–145. <https://doi.org/10.17221/42/2009-sw>
- Naswir, Hardjoamidjojo, S., Pandjaitan, N. H., & Pawitan, H. (2009). Efektivitas sistem fertigasi mikro untuk lahan sempit 1 (the effectiveness of micro fertigation system for small plots). *Forum Pascasarjana*, 32, 45–54. <https://repository.ipb.ac.id>
- Negera, I. D. G. J., Supriyadi, A., Pracoyo, A., Yasa, I. W., Suroso, A., & Agastya, D. M. (2024). Analisis penggunaan air irigasi tetes bertingkat empat pada usaha tani tanaman cabai di permukiman perkotaan. *GANEC SWARA*, 18(4), 2392. <https://doi.org/10.35327/gara.v18i4.1127>
- Rosma, I. H., Sukma, D. Y., & Solihin, I. M. (2021). Otomatisasi sistem fertigasi tetes untuk tanaman berbasis mikrokontroler. *Jurnal Teknik Elektro*, 13(1), 34–41. <https://doi.org/10.15294/jte.v13i1.31123>
- Saleta, M. E., Tobia, D., & Gil, S. (2004). Experimental study of Bernoulli's equation with losses. *Departamento de Física Universidad de Buenos Aire*, 12, 1–12. <https://www.fisicarecreativa.com>

Sholachuddin, M., Al Ayubi, Dzulkiflih, & Rahmawati, E. (2015). Perancangan dan penerapan alat pengukuran debit air dengan menggunakan venturimeter dan water flow sensor. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia Volume 04 Nomor 02 Tahun 2015*, 4, 21–26.
<https://ejournal.unesa.ac.id/>

Sulhairi, Muhammad Saleh Pallu, & Bambang Bakri. (2020). Pengaruh perubahan debit dan tinggi jatuh terhadap kehilangan energi pada jaringan perpipaan. *Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)*, 24.

Suprapto, S., Idrus, M., & Darmaputra, I. G. (2024). Performance of sprinkler and drip irrigation in cultivation of Crystal Guava (*Psidium guajava L.*) at P.T. GGPPG 4 East Lampung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 24(4), 544–557.
<https://doi.org/10.25181/jppt.v24i4.3861>