POLICY BRIEF

ENI SUMARNI
Universitas Jenderal Soedirman

Dukungan hasil penelitian dari tim Peneliti:
Eni Sumarni, Okti Herliana, Priswanto, Noor Farid, Zulfa Ulinnuha

PILOT KAWASAN PERBENIHAN BAWANG PUTIH ADAPTIF IKLIM : PEMANTAPAN TEKNOLOGI MENUJU KEMANDIRIAN BENIH SYSTEM

Ringkasan Eksekutif

Indonesia dan Jawa Tengah menghadapi masalah ketergantungan impor bawang putih yang tinggi akibat rendahnya laju pertumbuhan produksi nasional. Jawa Tengah belum dapat dikategorikan sebagai wilayah surplus bawang putih secara definitif karena kebutuhan konsumsi regional dan produksi aktual perlu dihitung pada tahun yang sama. Namun, kapasitas produksi domestik masih jauh dari kebutuhan nasional sehingga Indonesia tetap mengalami defisit dan bergantung pada impor.Secara konvensional, budidaya bawang putih terpusat di lahan dataran tinggi pegunungan. Namun, perluasan lahan di lereng curam (>30%) berisiko tinggi memicu erosi, deforestasi, dan kerusakan lingkungan kritis. Di sisi lain, memindahkan produksi ke dataran rendah tropis terhalang oleh suhu udara panas yang menghambat proses pembentukan umbi (*vernalisasi*). Riset ini menawarkan perubahan paradigma melalui teknologi **Root Zone Cooling (RZC) berbasis Aeroponik**. Dengan memanipulasi suhu dingin secara presisi (13–15°C) khusus pada zona perakaran di dalam *chamber* terisolasi, tanaman mampu membentuk umbi di dataran rendah (115 m dpl) dengan tingkat pembentukan umbi mencapai 94-95%, serta menghemat penggunaan air hingga 90%. Analisis ekonomi menunjukkan apabila hasil ini konsisten, maka potensi keuntungan bersih dapat mencapai R/C Ratio 2,37 per musim. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah direkomendasikan untuk mengambil keputusan strategis berupa penetapan **Pilot Project Kawasan Perbenihan Bawang Putih Dataran Rendah** berbasis *Smart Greenhouse* RZC-Aeroponik komunal untuk memvalidasi kelayakan teknologi, ekonomi, energi, dan kelembagaan sebelum direplikasi secara luas.

PENDAHULUAN

Bawang putih merupakan salah satu komoditas hortikultura strategis nasional yang kebutuhan pasokannya masih sangat bergantung pada produksi luar negeri. **Kesenjangan antara kebutuhan dan kemampuan produksi domestik menunjukkan bahwa peningkatan produksi dan produktivitas bawang putih dalam negeri menjadi agenda penting untuk mengurangi ketergantungan impor.** Di Jawa Tengah, potensi pengembangan bawang putih menghadapi persoalan yang berbeda antara dataran tinggi dan dataran rendah. Karena data produksi dan kebutuhan konsumsi regional pada tahun yang sama masih perlu disandingkan, Jawa Tengah **belum tepat diklaim sebagai wilayah surplus maupun defisit secara definitif**. Namun, keterbatasan produksi lokal dan tingginya ketergantungan nasional terhadap impor menunjukkan perlunya penguatan basis produksi dan perbenihan di daerah.

Peningkatan produksi melalui **ekstensifikasi di dataran tinggi** menghadapi keterbatasan ekologis. Lahan pertanian pegunungan semakin terbatas, sementara pembukaan atau intensifikasi pada lereng curam berpotensi meningkatkan erosi, degradasi tanah dan DAS, serta risiko longsor. Di sisi lain, **dataran rendah memiliki ketersediaan lahan yang lebih luas, tetapi suhu tropika yang tinggi menjadi** *policy and technology gap* karena bawang putih memerlukan kondisi lingkungan tertentu untuk mendukung pembentukan dan perkembangan umbi.

Teknologi root zone cooling (RZC) yang dipadukan dengan sistem aeroponik menawarkan pendekatan alternatif: bukan memperluas budidaya ke lahan pegunungan yang rentan secara ekologis, tetapi **merekayasa lingkungan perakaran agar produksi benih bawang putih dapat dikembangkan di**

dataran rendah. Teknologi ini memungkinkan pengendalian suhu zona perakaran secara lebih terarah, sekaligus berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung produksi benih bermutu dalam lingkungan terkendali.

Hasil penelitian awal menunjukkan bahwa rekayasa suhu zona perakaran dapat mengatasi sebagian hambatan fisiologis bawang putih di dataran rendah. Pada kondisi dataran rendah tropika, aplikasi RZC pada kisaran suhu tertentu telah menunjukkan keberhasilan pembentukan umbi. **Temuan ini memberikan bukti awal bahwa teknologi tidak lagi berada hanya pada tahap konsep, tetapi memerlukan pemantapan kelayakan teknis, ekonomi, operasional, dan kelembagaan sebelum diperluas.**

Oleh karena itu, **kebijakan yang diusulkan bukan langsung berupa subsidi massal atau komersialisasi**, melainkan **Pilot Kawasan Perbenihan Bawang Putih Dataran Rendah Jawa Tengah**. Pilot ini menjadi tahap antara hasil penelitian dan implementasi skala luas untuk memvalidasi kinerja teknologi pada kondisi nyata, menguji kelayakan ekonomi dan kebutuhan energi, membangun kapasitas petani/operator, serta mengembangkan model kelembagaan produksi benih. Pendekatan ini sekaligus memberikan ruang bagi pemerintah daerah untuk memperoleh bukti sebelum melakukan replikasi atau investasi yang lebih luas.

Kebijakan tersebut selaras dengan arah pembangunan Jawa Tengah dalam **Perda Provinsi Jawa Tengah Nomor 7 Tahun 2025 tentang RPJMD Jawa Tengah 2025-2029**, khususnya agenda penguatan Jawa Tengah sebagai lumbung pangan nasional. Implementasinya juga dapat mendukung pemberdayaan generasi muda melalui modernisasi agribisnis dan penerapan *high-tech engineering*, sekaligus menerjemahkan semangat **"Ngopeni Nglakoni Jateng"** melalui inovasi yang meningkatkan produktivitas tanpa mendorong tekanan ekologis pada kawasan pegunungan. Dengan demikian, keputusan kebijakan yang diperlukan adalah penetapan dan dukungan terhadap pilot kawasan perbenihan bawang putih dataran rendah sebagai tahap pemantapan teknologi dan model bisnis sebelum diperluas ke tingkat kawasan.

DESKRIPSI MASALAH

A. Bukti Keunggulan Teknis Teknologi RZC–Aeroponik

Hasil pengujian pada kondisi dataran rendah tropika menunjukkan bahwa rekayasa suhu zona perakaran (*root zone cooling*/RZC) yang dikombinasikan dengan sistem aeroponik mampu mengatasi salah satu kendala utama produksi bawang putih, yaitu suhu lingkungan yang tinggi**.** Teknologi ini bekerja dengan mengendalikan suhu pada zona akar sehingga kondisi perakaran lebih mendukung proses pembentukan dan perkembangan umbi.

1. Pembentukan umbi meningkat pada kondisi RZC

Aplikasi RZC pada suhu zona perakaran sekitar **13–15°C** menghasilkan pembentukan umbi pada hingga **94–95% tanaman** pada kondisi dataran rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian lingkungan perakaran dapat membuka peluang produksi bawang putih di luar sentra dataran tinggi. Dengan demikian, RZC memberikan pendekatan rekayasa lingkungan sebagai alternatif terhadap ketergantungan pada kondisi agroklimat dataran tinggi.

2. Kualitas dan ukuran umbi menunjukkan respons positif

Pada perlakuan optimal, bawang putih yang dihasilkan ada yang mencapai **umbi hingga 6,26 cm**. Sebaliknya, pada kondisi tanpa pengendalian suhu zona perakaran, pembentukan dan perkembangan umbi tidak berlangsung optimal. Hasil tersebut memperkuat bahwa **pengendalian suhu zona akar merupakan komponen penting,** bukan sekadar sistem hidroponik atau aeroponiknya.



Gambar 1. Umbi hasil aplikasi *root zone cooling* pada sistem aeroponik di dataran rendah

3. Efisiensi penggunaan air menjadi salah satu keunggulan sistem

Sistem aeroponik dengan sirkulasi nutrisi tertutup (*closed-loop*) berpotensi meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan. Penghematan air yang dilaporkan mencapai **hingga 90% dibandingkan budidaya berbasis tanah**. Namun, angka tersebut perlu dipahami sebagai **efisiensi penggunaan air,** bukan sebagai bukti bahwa keseluruhan sistem otomatis lebih hemat sumber daya. Penggunaan listrik untuk pompa, sensor, dan terutama sistem pendinginan RZC tetap harus diperhitungkan dalam evaluasi keberlanjutan.

Implikasi: Secara teknis, teknologi RZC–aeroponik telah memberikan bukti awal bahwa bawang putih dapat dibentuk umbinya pada dataran rendah tropika. Namun, bukti tersebut masih perlu diterjemahkan ke dalam **uji skala pilot** untuk memastikan konsistensi produktivitas dan kualitas umbi pada kondisi produksi yang lebih luas.

B. Produktivitas, Biaya, dan Kelayakan Ekonomi

Keunggulan teknis perlu diikuti dengan pembuktian bahwa teknologi dapat diterapkan secara **ekonomis dan operasional** oleh pelaku usaha. Berdasarkan estimasi awal, pembangunan *smart greenhouse* dan instalasi RZC memerlukan investasi sekitar **Rp525 juta/ha**, sedangkan biaya operasional diperkirakan sekitar **Rp275 juta per musim.** Besarnya investasi menunjukkan bahwa teknologi ini belum tepat diarahkan langsung pada adopsi individual oleh petani, tetapi lebih realistis diuji melalui **model kawasan atau pengelolaan komunal**.

Rentang produktivitas **12–25 ton/ha** menunjukkan adanya variasi kinerja yang cukup besar. Oleh karena itu, kelayakan ekonomi sebaiknya tidak didasarkan pada nilai produktivitas tertinggi, tetapi menggunakan **beberapa skenario produksi**, misalnya skenario konservatif, moderat, dan optimistis. Dengan harga benih sebesar **Rp50.000/kg,** penerimaan kotor secara matematis akan berbeda secara substansial antara produktivitas 12 ton/ha dan 25 ton/ha. Karena itu, klaim keuntungan **Rp325–347 juta/ha per musim dan R/C Ratio 2,37 (Tabel 1) perlu dihitung kembali dan dikaitkan secara eksplisit dengan skenario produktivitas, harga, biaya operasional, penyusutan investasi, dan biaya energi**.

Tabel 1. Pendugaan kelayakan ekonomi apliakasi root zone cooling aeroponic untuk produksi bawang putih

Komponen	Skenario Konservatif	Skenario Moderat	Skenario Optimistis
Produktivitas (ton/ha)	12	perlu ditetapkan	25
Harga benih (Rp/kg)	50.000	50.000	50.000
Penerimaan kotor (Rp/ha)	600 juta	—	1,25 miliar
Biaya operasional (Rp/ha/musim)	275 juta	—	275 juta
Laba sebelum komponen investasi*	325 juta	—	975 juta
Investasi awal	525 juta	525 juta	525 juta
Biaya energi pendinginan	perlu dihitung	perlu dihitung	perlu dihitung

*Belum memperhitungkan penyusutan investasi, biaya tenaga kerja apabila belum termasuk, biaya penggantian komponen, serta biaya energi secara rinci.

Catatan penting: tabel ini justru menunjukkan mengapa angka **Rp347 juta/ha** dan **R/C 2,37** tidak sebaiknya langsung dipertahankan sebelum dasar perhitungannya diverifikasi. Jika harga Rp50.000/kg dan biaya operasional Rp275 juta digunakan, maka produktivitas 12 ton/ha menghasilkan penerimaan Rp600 juta dan selisih terhadap biaya operasional sebesar Rp325 juta, sedangkan produktivitas 25 ton/ha menghasilkan selisih Rp975 juta. Jadi, angka keuntungan Rp325–347 juta **tidak merepresentasikan seluruh rentang produktivitas 12–25 ton/ha**.

Perkiraan Kelayakan Ekonomi Pilot Greenhouse 10 m x 10 m

Validasi kelayakan teknologi RZC–aeroponik pada kondisi nyata, dapat digunakan unit pilot greenhouse berukuran 10 m × 10 m (100 m²). Skala ini cukup untuk menguji kinerja sistem secara operasional, sekaligus menghasilkan data aktual mengenai produktivitas, penggunaan air, kebutuhan energi, biaya produksi, dan pendapatan.

Berdasarkan rentang produktivitas hasil penelitian sebesar 12–25 ton/ha, maka secara ekuivalen produksi pada luasan 100 m² diperkirakan sebesar 120–250 kg per musim. Dengan asumsi harga benih sebesar Rp50.000/kg, penerimaan kotor diperkirakan berkisar antara Rp6 juta hingga Rp12,5 juta per musim. Namun, investasi teknologi pada skala 100 m² tidak dapat dihitung dengan membagi investasi 1 ha secara proporsional. Komponen seperti chiller, pompa, panel kontrol, sensor, instalasi listrik, tandon, dan sistem aeroponik merupakan biaya yang sebagian bersifat tetap. Oleh karena itu, investasi aktual per satuan luas pada greenhouse kecil dapat relatif lebih tinggi dibandingkan skala kawasan.

Perkiraan investasi awal pilot 100 m^2

Asumsi awal untuk studi kelayakan, struktur investasi dapat disusun sebagai berikut (Tabel 2):

Tabel 2. Perkiraan investasi awal pilot 100 m^2

Komponen investasi	**Perkiraan biaya**
Struktur dan penutup greenhouse 100 m²	Rp20 juta
Sistem aeroponik dan instalasi nutrisi	Rp15 juta
Sistem RZC/chiller dan distribusi pendingin	Rp25 juta
Sensor, kontroler dan monitoring IoT	Rp7 juta
Instalasi listrik, pompa, tandon dan plumbing	Rp5 juta
Instalasi pendukung dan contingency	Rp3 juta
Total investasi awal	**±Rp75 juta**

Catatan: angka tersebut merupakan asumsi untuk simulasi, bukan harga investasi final. RAB aktual perlu disusun berdasarkan spesifikasi greenhouse, kapasitas chiller, jumlah nozzle, pompa, sensor, dan sistem kontrol yang benar-benar digunakan.

Perkiraan Biaya Operasional

Untuk satu musim produksi, biaya operasional dapat diperkirakan sekitar Rp12 juta/100 m², dengan komponen utama (Tabel 3):

Tabel 3. Perkiraan Biaya Operasional

Komponen	Perkiraan/musim
Benih/bahan tanam dan media pendukung	Rp1,5 juta
Nutrisi dan bahan kimia	Rp1,5 juta
Listrik RZC, aeroponik dan kontrol	Rp3,5 juta
Tenaga kerja	Rp3 juta
Pemeliharaan dan penggantian komponen	Rp1,5 juta
Air, sanitasi dan biaya lain	Rp1 juta
Total	**±Rp12 juta**

Angka konsumsi listrik merupakan komponen yang paling perlu diverifikasi pada tahap pilot, karena beban *chiller* sangat bergantung pada suhu udara greenhouse, target RZT, kapasitas sistem, lama operasi, dan efisiensi peralatan.

Analisis Pendapatan Berdasarkan Tiga Skenario

Agar tidak menggunakan angka keuntungan yang terlalu optimistis, analisis sebaiknya menggunakan tiga skenario produktivitas (Tabel 4).

Tabel 4. Analisis Pendapatan Berdasarkan Tiga Skenario

Parameter	Konservatif	Moderat	Optimistis
Produktivitas	12 t/ha	18 t/ha	25 t/ha
Produksi 100 m²	120 kg	180 kg	250 kg
Harga benih	Rp50.000/kg	Rp50.000/kg	Rp50.000/kg
Penerimaan kotor	**Rp6 juta**	**Rp9 juta**	**Rp12,5 juta**
Biaya operasional	Rp12 juta	Rp12 juta	Rp12 juta
Margin operasional	**–Rp6 juta**	**–Rp3 juta**	**Rp0,5 juta**

Tabel tersebut memberikan temuan yang sangat penting: pada skala 100 m², dengan asumsi harga Rp50.000/kg dan biaya operasional Rp12 juta/musim, unit pilot belum otomatis layak sebagai unit bisnis mandiri, khususnya apabila produktivitas berada pada skenario rendah–moderat.

Hal ini bukan kelemahan konsep pilot. Sebaliknya, kondisi tersebut menunjukkan pentingnya pengujian skala pilot untuk menemukan skala ekonomi (*economies of scale*). Pada greenhouse kecil, biaya tetap untuk RZC, kontrol, sensor, dan pendinginan harus ditanggung oleh volume produksi yang relatif kecil.

Ketika luasan diperbesar, biaya tetap tersebut dapat dialokasikan terhadap volume produksi yang lebih besar sehingga biaya produksi per kilogram berpotensi menurun.

C. Kebutuhan Energi dan Keberlanjutan Teknologi

Salah satu tantangan utama teknologi RZC adalah **kebutuhan energi untuk mempertahankan suhu zona perakaran pada kondisi optimum**. Efisiensi air yang tinggi belum secara otomatis menunjukkan efisiensi sumber daya secara keseluruhan. Konsumsi listrik untuk *chiller*, pompa, sirkulasi nutrisi, sensor, dan sistem kontrol perlu dihitung sebagai bagian dari biaya produksi.

Oleh karena itu, indikator keberlanjutan teknologi perlu diperluas dari **efisiensi air** menjadi **efisiensi air–energi–produksi**, misalnya melalui:

- konsumsi air per kg benih;
- konsumsi listrik per kg benih;
- biaya energi per musim;
- proporsi energi terbarukan terhadap total kebutuhan listrik; dan
- produktivitas benih per unit energi.

Integrasi **panel surya (***solar photovoltaic***)** dapat menjadi salah satu strategi untuk menekan biaya energi, tetapi penerapannya tetap perlu diuji berdasarkan kebutuhan listrik aktual sistem RZC dan kapasitas pembangkit. Dengan demikian, energi surya sebaiknya diposisikan sebagai **opsi optimasi sistem**, bukan langsung sebagai bukti bahwa teknologi telah berkelanjutan.

D. Kesiapan Teknologi dan Skala Implementasi

Hasil penelitian memberikan **bukti teknis yang kuat pada skala pengujian**, tetapi belum cukup untuk langsung menyimpulkan bahwa teknologi telah layak diterapkan secara komersial dalam skala hektaran. Perbedaan antara skala penelitian dan skala usaha dapat memengaruhi kebutuhan energi, tenaga kerja, pengelolaan nutrisi, kestabilan suhu, biaya pemeliharaan, dan produktivitas aktual. Karena itu, tahapan yang diperlukan adalah **pilot kawasan perbenihan**, bukan langsung perluasan komersial. Pilot berfungsi untuk menguji teknologi pada skala operasional yang lebih besar sekaligus memperoleh data nyata mengenai:

1. konsistensi produktivitas dan kualitas benih**;**
2. kebutuhan investasi dan biaya operasional aktual**;**
3. konsumsi air dan energi per unit produksi**;**
4. keandalan RZC, aeroponik, sensor, dan sistem kontrol**;**
5. kebutuhan tenaga kerja dan keterampilan operator**;**
6. kelayakan ekonomi pada beberapa skenario harga dan produktivitas**;** dan
7. model kelembagaan pengelolaan kawasan, termasuk kemungkinan *cooperative farming*.

Dengan pendekatan tersebut, **pilot bukan sekadar demonstrasi teknologi**, tetapi menjadi tahap **pemantapan kelayakan teknis, ekonomi, energi, dan kelembagaan** sebelum teknologi direplikasi pada kawasan yang lebih luas (Tabel 5).

Tabel 5. Apek, Temuan dan Implikasi Kebijakan

Aspek	Temuan	Implikasi Kebijakan
Teknis	RZC 13–15°C mendukung pembentukan umbi hingga 94–95%; diameter hingga 6,26 cm	Teknologi berpotensi mengatasi kendala suhu dataran rendah
Air	Efisiensi penggunaan air hingga 90%	Mendukung efisiensi sumber daya, tetapi perlu dibandingkan dengan konsumsi energi
Produktivitas	12–25 ton/ha	Perlu validasi produktivitas pada skala pilot dan penetapan skenario ekonomi
Investasi	±Rp525 juta/ha	Kurang sesuai untuk adopsi individual; perlu pendekatan kawasan/komunal
Operasional	±Rp275 juta/musim	Perlu verifikasi komponen biaya, terutama energi pendinginan
Energi	RZC membutuhkan listrik untuk pendinginan	Efisiensi energi harus menjadi indikator utama kelayakan
Skalabilitas	Bukti kuat pada skala penelitian, tetapi perlu validasi lapangan	Pilot kawasan diperlukan sebelum komersialisasi luas
Kelembagaan	Teknologi relatif kompleks	Cocok diuji melalui pengelolaan kelompok/kawasan

Secara keseluruhan, RZC–aeroponik menunjukkan bukti awal keunggulan teknis untuk produksi benih bawang putih di dataran rendah, terutama dalam pembentukan dan kualitas umbi serta efisiensi penggunaan air. Namun, kelayakan implementasi belum cukup dinilai dari produktivitas saja. Biaya investasi, biaya energi, produktivitas aktual, dan kemampuan pengelolaan pada skala lebih besar perlu divalidasi. Oleh karena itu, tahap kebijakan yang paling tepat adalah membangun pilot kawasan perbenihan sebagai wahana pemantapan kelayakan teknologi dan model usaha sebelum dilakukan replikasi dan komersialisasi lebih luas.

Untuk memvalidasi kelayakan teknologi RZC–aeroponik sebelum dikembangkan pada skala kawasan, diperlukan unit pilot greenhouse berukuran 10 m × 10 m (100 m²). Berdasarkan rentang produktivitas penelitian sebesar 12–25 ton/ha, produksi pada luasan tersebut diperkirakan mencapai 120–250 kg benih per musim. Dengan asumsi harga benih Rp50.000/kg, penerimaan kotor diperkirakan sebesar Rp6–12,5 juta per musim.

Investasi awal pilot diperkirakan sekitar Rp75 juta, yang mencakup greenhouse, sistem aeroponik, RZC/chiller, sensor dan kontrol, serta instalasi pendukung. Biaya operasional diperkirakan sekitar Rp12 juta per musim, dengan listrik untuk sistem pendinginan sebagai salah satu komponen biaya utama. Simulasi menunjukkan bahwa pada skala 100 m², kelayakan ekonomi sangat sensitif terhadap produktivitas, harga benih, biaya energi, dan frekuensi produksi. Pada produktivitas 12–18 ton/ha, penerimaan belum mampu menutup biaya operasional, sedangkan pada 25 ton/ha margin operasional masih sangat terbatas sebelum memperhitungkan penyusutan investasi.

Temuan ini menunjukkan bahwa greenhouse 100 m² lebih tepat diposisikan sebagai unit pilot untuk pemantapan kelayakan, bukan sebagai skala komersial akhir. Pilot diperlukan untuk memperoleh data aktual mengenai biaya energi, biaya produksi per kilogram, produktivitas, keandalan sistem RZC–aeroponik, serta kebutuhan tenaga kerja. Data tersebut selanjutnya menjadi dasar untuk menentukan skala ekonomi dan luasan optimal kawasan perbenihan sebelum dilakukan investasi dan replikasi dalam skala lebih besar.

Selain aspek ekonomi, evaluasi perlu memasukkan **efisiensi energi**. Penghematan air hingga 90% merupakan keunggulan sistem aeroponik, tetapi belum cukup untuk menyatakan teknologi berkelanjutan apabila kebutuhan energi *chiller* tinggi. Oleh karena itu, indikator pilot perlu mencakup konsumsi air (L/kg benih), konsumsi listrik (kWh/kg benih), biaya energi (Rp/kg), biaya produksi (Rp/kg), dan margin usaha. Pemanfaatan energi surya dapat dipertimbangkan sebagai strategi untuk mengurangi beban energi, setelah kebutuhan listrik aktual sistem RZC diketahui.

RZC–aeroponik menunjukkan prospek kelayakan ekonomi, tetapi memerlukan validasi pada skala pilot untuk menentukan produktivitas, biaya energi, biaya produksi, dan skala ekonomi sebelum dikembangkan menjadi kawasan perbenihan komersial.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

1. Membangun Pilot Kawasan Perbenihan Bawang Putih Dataran Rendah

   Pemerintah Provinsi Jawa Tengah melalui **Bappeda, Dinas Pertanian dan Hortikultura, perguruan tinggi, serta mitra usaha perlu menetapkan pilot kawasan perbenihan bawang putih berbasis** *Smart Greenhouse* **RZC–aeroponik** sebagai tahap pemantapan teknologi sebelum pengembangan skala luas.

   Pilot diawali dengan unit greenhouse sekitar **100 m² (10 × 10 m)** untuk menguji kinerja teknologi pada kondisi operasional. Hasil pilot digunakan untuk mengevaluasi produktivitas, kualitas benih, konsumsi air, konsumsi energi, biaya produksi, dan kelayakan usaha. Apabila indikator teknis dan ekonomi terpenuhi, model dikembangkan menjadi **Kawasan Perbenihan/Agroindustri Bawang Putih** dengan pengelolaan secara kelompok atau korporasi petani.

   Target awal:
   - 1 unit pilot greenhouse **100 m²**;
   - produksi dan kualitas benih terdokumentasi setiap musim;
   - pencatatan biaya produksi, air, dan energi;
   - tersusunnya model bisnis dan SOP pengelolaan kawasan.

2. Menerapkan roadmap pilot, Demonstrasi, Evaluasi, Pembiayaan dan replikasi

   Pengembangan teknologi tidak dilakukan langsung melalui komersialisasi, tetapi melalui tahapan yang memungkinkan pemerintah mengambil keputusan berdasarkan bukti untuk memperluas teknologi yang belum teruji pada skala operasional, tetapi digunakan untuk menghasilkan bukti yang menjadi dasar investasi berikutnya.

Tahap	Kegiatan utama	Output
2026–2027: Pilot	Greenhouse 100 m², RZC–aeroponik, monitoring IoT	Data teknis, ekonomi, energi
2027: Demonstrasi	Uji operasional bersama kelompok tani/petani muda	Model pengelolaan dan SOP
2027–2028: Evaluasi	Analisis produktivitas, biaya/kg, kWh/kg, air/kg dan kelayakan usaha	Keputusan *go/no-go*
2028: Pembiayaan	Penguatan akses KUR, APBD, CSR, matching fund dan investasi mitra	Skema pembiayaan berkelanjutan
2028–2029: Replikasi	Perluasan ke beberapa unit/kawasan yang memenuhi kriteria	Kawasan perbenihan bawang putih

REFERENSI

Sumarni, E., Herliana, O., Priswanto, Farid, N., & Ulinnuha, Z. (2025). Garlic production in Indonesian tropical lowland using root zone cooling and aeroponic system. *International Journal of Agriculture and Biology*, 33, 330303.

Direktorat Jenderal Hortikultura. (2025). *Laporan Kinerja (LAKIN) Direktorat Jenderal Hortikultura Tahun Anggaran 2024*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. (2025). *Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah Nomor 7 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi Jawa Tengah Tahun 2025–2029*. Semarang: Sekretariat Daerah Provinsi Jawa Tengah. (Dokumen penjabaran visi "Jawa Tengah sebagai Provinsi Maju yang Berkelanjutan" dan filosofi "Ngopeni Nglakoni Jateng").

Sumarni, E. (2026). *Pengendalian Lingkungan Mikro Tanaman Berbasis Rekayasa Biosistem: Strategi Teknik Pertanian untuk Kemandirian Benih dan Ketahanan Pangan*. (Orasi Ilmiah Pengukuhan Guru Besar dalam Bidang Ilmu Teknik Pertanian pada Fakultas Pertanian). Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto. 22 April 2026.