

PERANCANGAN STRUKTUR MESIN SORTIR BIBIT TANAMAN MENGUNAKAN METODE SCAMPER

**Muhammad Iman Dwi Darmawan¹, Dhika Aditya Purnomo^{1*}, Widya Emilia
Primaningtyas¹**

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: adityadhika@ppns.ac.id

Abstrak

Sektor pertanian Indonesia masih sangat bergantung pada metode manual dalam memantau kualitas bibit tanaman, yang sering kali menghasilkan penilaian yang tidak konsisten dan subjektif. Petani umumnya menilai bibit berdasarkan indikator visual seperti warna, ukuran, bentuk, dan tekstur daun. Proses ini tidak hanya rentan terhadap kesalahan manusia, tetapi juga memakan waktu, kurang efisien, dan sulit dilakukan dalam skala besar. Teknologi *phenotyping* menawarkan solusi dengan memungkinkan pemantauan dan klasifikasi secara presisi serta otomatis berdasarkan karakteristik fenotipe tanaman yang terukur. Meski demikian, penerapan teknologi *phenotyping* pada mesin pertanian praktis di Indonesia masih sangat terbatas, terutama pada sektor penyortiran bibit. Penelitian ini bertujuan untuk merancang struktur mesin sortir bibit tanaman yang mengintegrasikan teknologi *phenotyping* dengan metode SCAMPER sebagai kerangka desain kreatif. Metode SCAMPER digunakan untuk menghasilkan ide-ide inovatif melalui proses modifikasi, penggabungan, penggantian, adaptasi, serta penghapusan dan penyesuaian dari konsep yang telah ada. Desain akhir mencakup sistem konveyor untuk memindahkan bibit, lengan robot dengan tiga derajat kebebasan untuk proses sortir, serta sensor Intel RealSense untuk deteksi berbasis fenotipe. Struktur mesin dirancang untuk memastikan kekuatan mekanik, stabilitas operasional, dan fleksibilitas tinggi sehingga mampu beradaptasi pada berbagai jenis tanaman. Integrasi komponen ini diharapkan meningkatkan efisiensi, akurasi, dan skalabilitas proses sortir bibit, sekaligus mengatasi keterbatasan metode manual. Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan peralatan pertanian cerdas dan menjadi referensi desain bagi otomatisasi sortir bibit di masa depan.

Kata kunci: konveyor, lengan robot, lidar sensor, metode SCAMPER, perancangan produk

Abstract

Indonesia's agricultural sector remains heavily reliant on manual methods for monitoring seedling quality, often leading to inconsistent and subjective assessments. Farmers typically evaluate seedlings based on visual indicators such as leaf color, size, and texture, a process prone to human error and inefficiency. Phenotyping technology offers a promising solution by enabling precise, automated monitoring and classification of plants based on measurable traits. However, in Indonesia, the integration of phenotyping into practical agricultural machinery is still limited. This study focuses on designing the structure of a seed sorting machine that integrates phenotyping technology with the SCAMPER method as a creative design framework. SCAMPER is applied to systematically modify, combine, and adapt existing concepts to generate innovative design ideas. The proposed design includes a conveyor belt for seed transportation, a three-degree-of-freedom robotic arm for sorting, and an Intel RealSense sensor for phenotype-based detection. The machine's structure is engineered for mechanical strength, stability, and adaptability to various plant types. By combining these components, the system improves sorting efficiency, accuracy, and scalability, effectively addressing the limitations of manual processes. This research contributes to the

advancement of smart agricultural machinery and provides a practical design reference for future development of automated seed sorting systems in Indonesia.

Keywords: conveyor, lidar sensor, product design, robot arm, SCAMPER method

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara agraris, memiliki sekitar 8,1 juta hektar lahan pertanian, dengan Jawa menyumbang sekitar 42% dari total (Tempo.co, 2023). Pertanian memainkan peran vital dalam perekonomian nasional, mendukung lebih dari 27 juta rumah tangga petani (BPS, 2023). Meskipun pentingnya, banyak proses dalam produksi pertanian, termasuk pemantauan dan penyortiran bibit, masih dilakukan secara manual. Petani umumnya mengandalkan pemeriksaan visual untuk menilai kesehatan tanaman dengan mengamati warna, ukuran, atau tekstur daun. Pendekatan manual ini sangat bergantung pada pengalaman individu dan rentan terhadap ketidakkonsistenan serta subjektivitas (Maulana Ibrahim et al., 2023).

Perkembangan teknologi di bidang pertanian telah memperkenalkan *fenotiping*, suatu metode yang secara kuantitatif menggambarkan sifat-sifat tanaman yang timbul akibat interaksi genetik dan lingkungan (Furbank, 2009). Dalam aplikasi modern, *fenotiping* memanfaatkan sistem pemindaian dan sensor untuk melakukan pemantauan tanaman dengan kapasitas tinggi dan non-destruktif. Sistem ini dapat menangkap data morfologis dan fisiologis, memungkinkan klasifikasi yang presisi dan objektif. Meskipun telah banyak digunakan di lingkungan penelitian secara internasional, *fenotiping* masih kurang dimanfaatkan di industri pertanian Indonesia akibat biaya tinggi, keterbatasan keahlian teknis, dan kurangnya mesin yang disesuaikan dengan kondisi lokal (Chawade et al., 2019).

Ketiadaan mesin yang terjangkau dan praktis yang mengintegrasikan *fenotiping* ke dalam operasi lapangan menciptakan kesenjangan inovasi. Mesin penyortiran benih otomatis yang mampu melakukan klasifikasi berdasarkan karakteristik fenotipik dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi dan objektivitas dalam penilaian bibit. SCAMPER alat pemecahan masalah berbasis kreativitas yang mencakup *substitute* (ganti), *combine* (gabungkan), *adapt* (sesuaikan), *modify* (modifikasi), *put to other uses* (gunakan untuk tujuan lain), *eliminate* (hapus), dan *reverse* (balik) menawarkan pendekatan terstruktur untuk menghasilkan ide desain inovatif (Suhartono et al., 2016). Penelitian ini menerapkan SCAMPER untuk merancang struktur mekanis yang mengintegrasikan teknologi *fenotiping* ke dalam mesin penyortiran pertanian, dengan tujuan menjembatani kesenjangan antara penelitian dan penerapan lapangan.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) *Plant Phenotyping*

Plant phenotyping adalah metode kuantifikasi karakteristik tanaman yang dipengaruhi interaksi genotipe dan lingkungan. Teknologi ini menggunakan sensor dan sistem pencitraan untuk memantau morfologi dan kondisi fisiologis tanaman secara presisi dan non-destruktif, sehingga mengurangi subjektivitas pengamatan. Penerapannya terbukti efektif, seperti pada penelitian Sun et al. (2018) yang menggunakan sistem LiDAR untuk memantau pertumbuhan tanaman kapas dan mencapai korelasi tinggi (R^2 0,98) dengan pengukuran manual.

(B) Metode SCAMPER

SCAMPER adalah teknik kreatif yang terdiri dari tujuh langkah: *substitute*, *combine*, *adapt*, *modify*, *put to other uses*, *eliminate*, dan *reverse*. Metode ini membantu desainer menghasilkan ide baru dengan memodifikasi, menggabungkan, atau mengadaptasi konsep yang ada untuk memenuhi kebutuhan desain (Suhartono et al., 2016). SCAMPER telah digunakan di berbagai bidang, termasuk permesinan pertanian, karena kemampuannya menghasilkan desain inovatif secara sistematis.

Beberapa penelitian menggabungkan *phenotyping* dengan sistem otomasi untuk meningkatkan efisiensi. Yuan et al. (2024) merancang lengan robot enam derajat kebebasan untuk penyiraman tanaman dengan presisi tinggi, sedangkan Wibowo et al. (2023) mengembangkan alat transportasi hortikultura ergonomis yang mengurangi beban kerja operator. Temuan ini menunjukkan potensi besar integrasi sensor dan otomasi dalam meningkatkan produktivitas pertanian.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan perancangan berbasis metode SCAMPER yang dikombinasikan dengan analisis kekuatan struktur menggunakan perangkat lunak CAD-CAE. Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

(A) Identifikasi Kebutuhan

Tahap ini dilakukan untuk menentukan spesifikasi fungsional mesin sortir bibit berbasis *phenotyping*. Kebutuhan utama yang diidentifikasi meliputi kapasitas sortir minimal 60 unit/jam, tingkat akurasi klasifikasi yang konsisten, struktur yang kokoh namun ringan, dan kemudahan integrasi dengan sensor vision. Informasi ini diperoleh melalui studi literatur, pengamatan proses penyortiran bibit di lapangan, dan wawancara dengan praktisi pertanian (Maulana Ibrahim et al., 2023).

(B) Penerapan Metode SCAMPER

Metode SCAMPER diterapkan untuk menghasilkan ide rancangan melalui tujuh langkah:

- (1) *Substitute*: Mengganti proses pemindahan manual dengan konveyor yang digerakkan motor.
- (2) *Combine*: Menggabungkan sistem konveyor, lengan robot 3 DoF, dan sensor *Intel RealSense* dalam satu struktur terpadu.
- (3) *Adapt*: Menyesuaikan desain lengan robot 6 DoF menjadi 3 DoF untuk mengurangi kompleksitas dan biaya.
- (4) *Modify*: Memodifikasi rangka dengan penambahan rel dan braket sensor yang dapat disesuaikan.
- (5) *Put to other uses*: Mendesain agar sistem dapat digunakan untuk menyortir objek lain dengan kriteria visual serupa.
- (6) *Eliminate*: Menghilangkan komponen mekanis yang tidak berkontribusi pada fungsi utama.
- (7) *Reverse*: Mendesain mulai dari kebutuhan pengguna, lalu berbalik ke pemilihan material dan komponen.

(C) Perancangan Konsep

Desain konsep dibuat menggunakan Autodesk Fusion 360. Model 3D mencakup rangka utama berbahan baja ASTM A36, sistem konveyor, lengan robot, dan dudukan sensor. Dimensi dan tata letak disesuaikan dengan standar ergonomi operator dan ruang instalasi di lahan pertanian.

(D) Analisis Kekuatan Struktur

Analisis kekuatan dilakukan dengan simulasi (FEM) *Finite Element Method* pada Fusion 360 untuk memeriksa distribusi tegangan *Von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN**(A) Identifikasi Kebutuhan**

Hasil identifikasi kebutuhan menunjukkan bahwa mesin sortir bibit berbasis *phenotyping* harus mampu memproses setidaknya 60 bibit per jam dengan tingkat akurasi klasifikasi yang tinggi. Struktur rangka perlu cukup kuat untuk menopang seluruh sistem, termasuk konveyor, lengan robot 3 DoF, dan sensor Intel RealSense. Dari segi ergonomi, mesin harus memiliki ketinggian kerja yang nyaman bagi operator serta dimensi yang memungkinkan pemasangan di area pertanian terbatas. Kebutuhan ini menjadi dasar kriteria desain yang digunakan pada tahap SCAMPER.

Tabel 1. Pertanyaan Metode SCAMPER

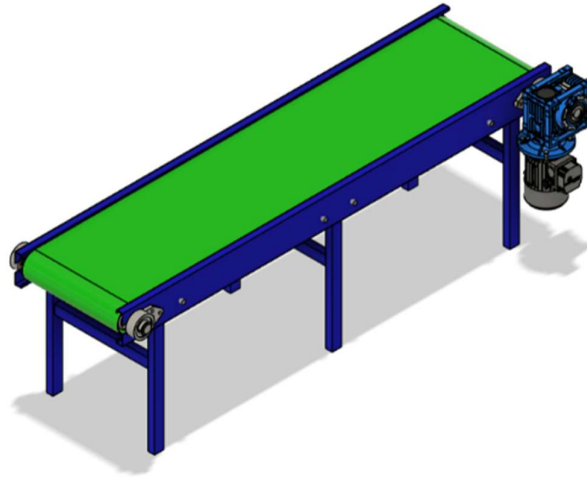
Metode SCAMPER	Pertanyaan
<i>Substitute</i>	Apa yang bisa digantikan untuk membuat perbaikan?
<i>Combine</i>	Bisakah mencampur dua atau lebih alat Bersama sama?
<i>Adapt</i>	1. Apa yang perlu diubah untuk mencapai hasil yang lebih baik? 2. Bagian produk mana yang dapat diubah? 3. Bagaimana cara menyesuaikan produk yang sudah ada?
<i>Modify</i>	1. Dapatkah mengubah arti ataupun bentuk pada produk yang ada? 2. Apa yang bisa ditambahkan? 3. Apa yang bisa dibuat lebih tinggi, lebih besar, atau lebih kuat?
<i>Put to Another Uses</i>	Apa manfaat produk jika digunakan di tempat lain?
<i>Eliminate</i>	Bagaimana cara menyesuaikan produk yang sudah ada?
<i>Reverse</i>	Dapatkah mengubah arti ataupun bentuk pada produk yang ada?

(B) Penerapan Metode SCAMPER

Metode SCAMPER digunakan untuk mengeksplorasi berbagai ide desain berdasarkan kebutuhan yang telah diidentifikasi. Setiap langkahnya memiliki konteks spesifik pada pengembangan mesin sortir bibit berbasis *phenotyping* ini, sebagai berikut:

(1) Substitute

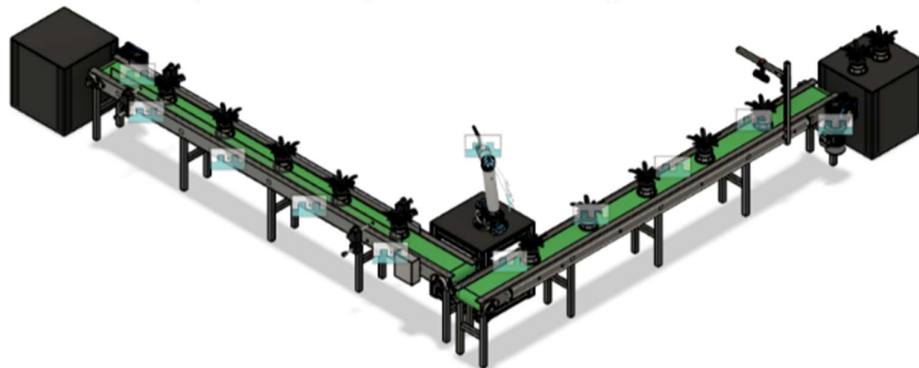
Proses pemindahan bibit yang sebelumnya dilakukan secara manual oleh operator diganti dengan sistem konveyor *belt* berbahan PVC. Pemilihan ini didasarkan pada kebutuhan efisiensi waktu, pengurangan kesalahan manusia, dan konsistensi kecepatan aliran bibit. Motor penggerak menggunakan Panasonic M9MZ90 yang dipadukan dengan *gearbox* NMRV030 untuk memastikan torsi yang cukup dengan kecepatan yang stabil.



Gambar 1. *Conveyor Belt*

(2) *Combine*

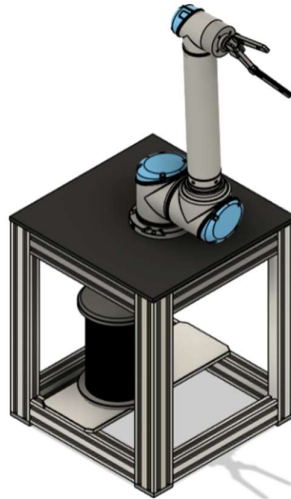
Sistem konveyor, lengan robot 3 DoF, dan sensor Intel RealSense digabungkan dalam satu rangka utama. Integrasi ini mengurangi *footprint* mesin di lahan pertanian, meminimalkan proses pemindahan antar stasiun kerja, dan mempercepat alur sortir. Penggabungan ini juga mempermudah proses kontrol karena semua komponen berada pada satu sistem terpadu.



Gambar 2. Kombinasi Konveyor, Lengan Robot dan Sensor Lidar

(3) *Adapt*

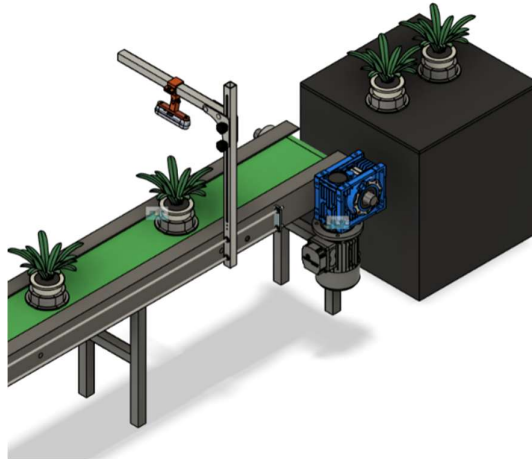
Desain awal menggunakan lengan robot 6 DoF seperti pada sistem industri, namun diadaptasi menjadi 3 DoF untuk menekan biaya pembuatan dan memudahkan pemrograman. Adaptasi ini tetap mempertahankan fungsionalitas utama, yaitu mengambil bibit dari konveyor dan memindahkannya ke tempat sortir sesuai klasifikasi sensor.



Gambar 3. Lengan Robot 3 DoF

(4) *Modify*

Struktur rangka dimodifikasi dengan menambahkan braket sensor *adjustable*. Modifikasi ini memungkinkan penyesuaian sudut dan ketinggian sensor sesuai ukuran bibit dan kondisi pencahayaan di lapangan. Braket *adjustable* ini juga memudahkan kalibrasi ulang saat mesin dipindahkan ke lokasi berbeda.



Gambar 4. Braket Sensor Lidar

(5) *Put to Other Uses*

Mesin tidak hanya dirancang untuk bibit tanaman tertentu, tetapi juga dapat digunakan untuk menyortir komoditas lain seperti benih hortikultura atau buah berukuran kecil yang dapat dianalisis secara visual. Fleksibilitas ini meningkatkan nilai guna dan potensi pasar mesin.

(6) *Eliminate*

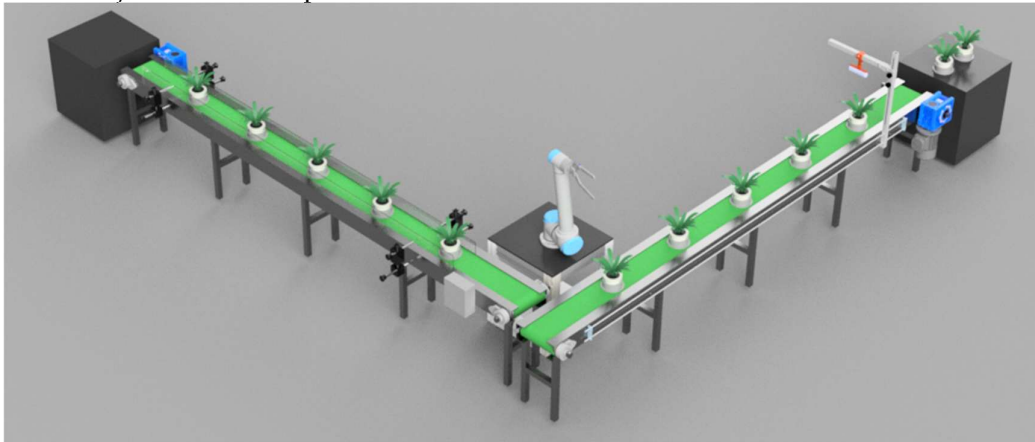
Beberapa komponen non-esensial dihilangkan untuk mengurangi biaya dan memudahkan perawatan, seperti panel dekoratif dan sistem sensor tambahan yang tidak berkontribusi signifikan terhadap fungsi utama. Eliminasi ini membuat struktur lebih sederhana dan ringan.

(7) *Reverse*

Urutan proses desain dibalik dengan memulai dari analisis kebutuhan pengguna di lapangan (misalnya kecepatan kerja dan kondisi lingkungan) sebelum menentukan spesifikasi teknis seperti material dan jenis motor. Pendekatan ini memastikan desain lebih sesuai dengan kondisi operasional nyata.

(C) **Perancangan Konsep**

Desain dibuat di Autodesk Fusion 360 dengan mempertimbangkan kekuatan, stabilitas, dan kemudahan perakitan. Rangka utama menggunakan baja ASTM A36 berbentuk profil kotak, dipilih karena kekuatan dan ketersediaannya di pasaran lokal. Sistem konveyor ditempatkan pada bagian bawah lengan robot untuk mempermudah proses pengambilan dan pemindahan bibit. Dudukan sensor diposisikan di atas jalur konveyor dengan ketinggian yang dapat disesuaikan. Penempatan komponen memperhatikan aliran kerja bibit dari awal masuk hingga keluar mesin, memastikan proses berjalan lancar tanpa hambatan.



Gambar 5. Desain Mesin Sortir Bibit Tanaman

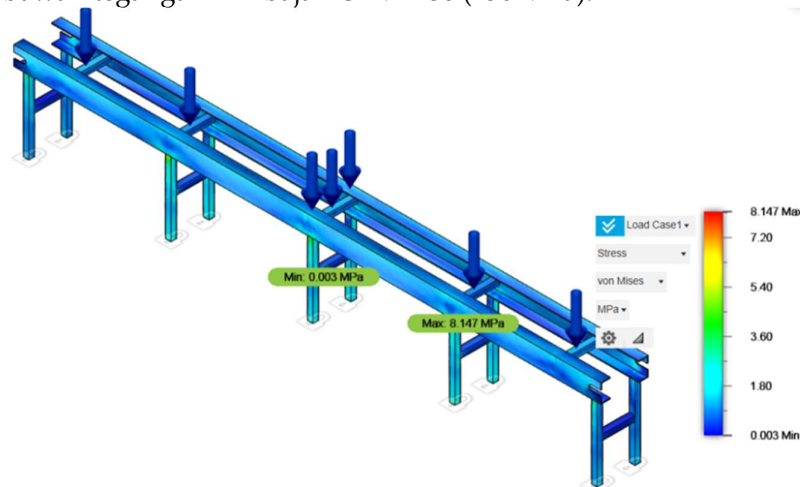
(D) **Analisis Kekuatan Struktur**

Analisis menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk memastikan struktur mampu menahan beban operasional. Desain ini menggunakan plat ketebalan 5 mm dan profil *hollow* persegi ASTM A36.

Tabel 2. Sifat Fisik Material ASTM A36

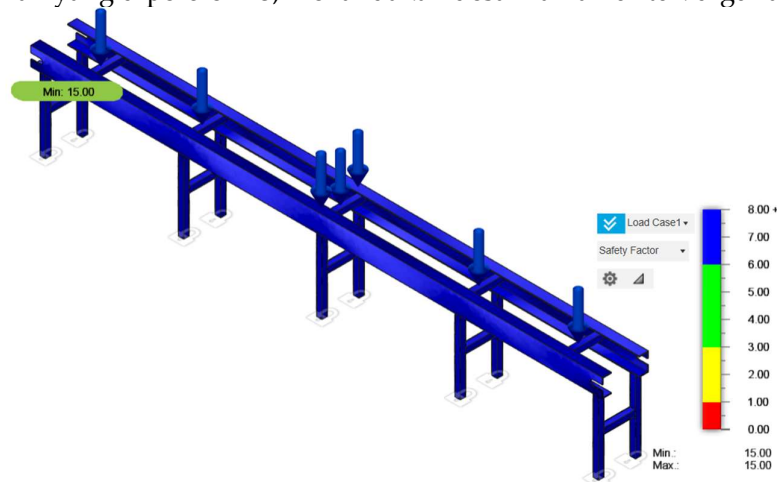
Parameter	Keterangan
<i>Material</i>	ASTM A36
Modulus Elastisitas (E)	200.000 Mpa (N/mm ²)
<i>Density</i>	7,85 g/cm ³
<i>Yield strength</i>	250 Mpa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	400 – 550 Mpa
<i>Modulus of Elasticity</i>	200 Gpa
<i>Bulk Modulus</i>	140 Gpa
<i>Poisson's Ratio</i>	0,260
<i>Shear Modulus</i>	79,3 Gpa

Hasil simulasi pada rangka menunjukkan tegangan *Von Mises* maksimum 8,147 MPa, jauh di bawah tegangan izin baja ASTM A36 (250 MPa).



Gambar 6. Hasil Simulasi *Von Mises*

Faktor keamanan yang diperoleh >3 , menandakan desain aman untuk digunakan.



Gambar 7. Hasil Simulasi *Safety Factor*

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang struktur mesin sortir bibit tanaman berbasis fenotipe dengan metode SCAMPER. Penerapan tujuh langkah SCAMPER menghasilkan desain yang inovatif, meliputi penggantian proses manual dengan konveyor PVC bermotor, integrasi lengan robot 3 DoF, dan penggunaan sensor Intel RealSense untuk klasifikasi bibit berbasis fenotipe. Analisis kekuatan struktur menunjukkan rangka baja ASTM A36 dan lengan robot memiliki tegangan jauh di bawah batas izin material, dengan faktor keamanan >3 dan defleksi maksimum 0,27 mm, sehingga aman dan presisi digunakan.

Sebagai tindak lanjut, diperlukan uji coba lapangan terhadap mesin sortir ini guna mengetahui performa aktualnya dalam kondisi lingkungan nyata pertanian. Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem kecerdasan buatan untuk meningkatkan

akurasi klasifikasi fenotipe tanaman secara *real-time*. Selain itu, diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi rekomendasi kebijakan dalam pengembangan teknologi pertanian cerdas (*smart agriculture*) di Indonesia, khususnya dalam mendorong otomatisasi pada sektor budidaya tanaman pangan.

REFERENSI

- Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik Indonesia 2023. *Badan Pusat Statistik*. <https://www.bps.go.id>
- Chawade, A., Armoniené, R., Berg, G., Brazauskas, G., Frostgård, G., Geleta, M., Länkinen, P., Svensson, J. T., & Henriksson, T. (2019). High-throughput field-phenotyping tools for plant breeding and precision agriculture. *Agronomy*. 9(5), 258. Doi:10.3390/agronomy9050258
- Furbank, R. T. (2009). Plant phenomics: From gene to form and function. *Functional Plant Biology*. 36(10–11), v–vi. Doi:10.1071/FPv36n10_FO
- Hilty, J., Muller, B., Pantin, F., & Leuzinger, S. (2021). Plant growth: The what, the how, and the why. *New Phytologist*. 232(1), 25–41. Doi:10.1111/nph.17610
- Ma, D., Wang, L., Zhang, L., Song, Z., Rehman, T. U., & Jin, J. (2020). Stress distribution analysis on hyperspectral corn leaf images for improved phenotyping quality. *Sensors*. 20(13), 3659. Doi:10.3390/s20133659
- Maulana Ibrahim, M., Prasetyo, B., & Kurniawan, A. (2023). Rancang bangun alat sortir biji kopi otomatis menggunakan sensor warna. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 24(2), 101–110. <https://jtp.ub.ac.id/index.php/jtp/issue/view/91>
- Ningyuan, Y., Huang, Z., He, Y., Xiao, W., Yu, H., Qian, L., Xu, Y., Tao, Y., Lyu, P., Lyu, X., & Feng, X. (2024). Detection of color phenotype in strawberry germplasm resources based on field robot and semantic segmentation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 226, 109464. Doi:10.1016/j.compag.2024.109464
- Santos, M. P. D., Heckler, W. F., Bavaresco, R. S., & Barbosa, J. L. V. (2024). Machine learning applied to digital phenotyping: A systematic literature review and taxonomy. *Computers in Human Behavior*. 161, 108422. Doi:10.1016/j.chb.2024.108422
- Sochib, M., & Kusbiantoro, G. M. (2018). Perencanaan gravity conveyor batu bara dengan kapasitas 1000 ton per jam di PT. Meratus Jaya Iron Steel Tanah Bumbu. *Teknik: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik*. 7(1), 16–33.
- Suhartono, S., Putra, R. A., & Hidayat, T. (2016). Penggunaan metode SCAMPER untuk pengembangan produk alat penyiram tanaman otomatis. *Jurnal Teknik Mesin*. 5(1), 15–22.
- Sun, S., Li, C., Paterson, A. H., Jiang, Y., Xu, R., Robertson, J. S., Snider, J. L., & Chee, P. W. (2018). In-field high throughput phenotyping and cotton plant growth analysis using LiDAR. *Frontiers in Plant Science*. 9(16). Doi:10.3389/fpls.2018.00016
- Tempo.co. (2023). Kementan targetkan peningkatan produktivitas pertanian melalui teknologi digital. *Tempo.co*. <https://bisnis.tempo.co/read/1723xxxx>
- Wibowo, R. A., & Soewardi, H. (2023). Reka bentuk alat angkut ergonomis tanaman hortikultura untuk menurunkan sindrom muskuloskeletal. *TEKNIK*. 44(2), 203–210. Doi:10.14710/teknik.v44i2.50281