

BAB I

PENDAHULUAN

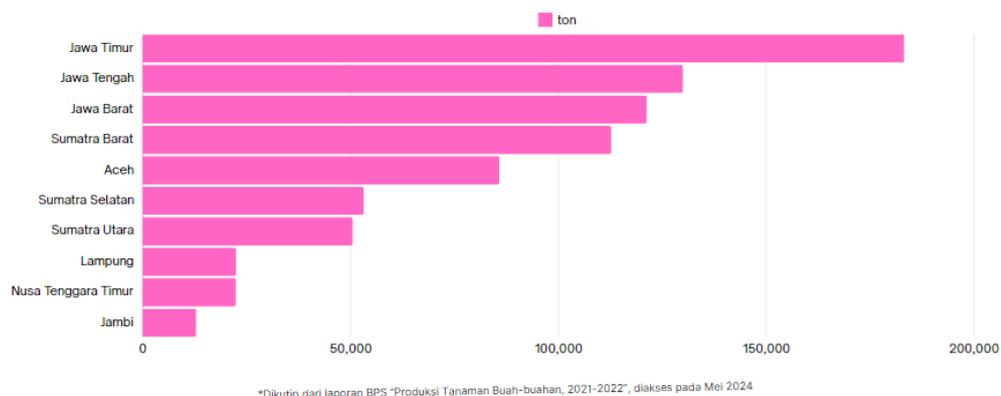
1.1 Pengenalan Masalah

Negara Indonesia adalah negara dengan sumber daya alamnya yang besar, kekayaannya meliputi laut, mineral, dan hasil bumi. Pertanian adalah suatu kegiatan manusia yang termasuk di dalamnya yaitu bercocok tanam, peternakan, perikanan dan juga kehutanan. Sebagian besar mata pencaharian masyarakat di Indonesia adalah sebagai petani yang merupakan sektor paling besar dalam pembangunan perekonomian masyarakat Indonesia. [1]

Tanaman Alpukat telah lama dikenal oleh masyarakat Indonesia. Tanaman ini merupakan salah satu komoditas buah-buahan yang mempunyai nilai ekonomi yang cukup tinggi. Tanaman alpukat telah menyebar luas ke negara Indonesia. Ada 3 jenis kelompok besar alpukat yaitu Mexico, Indian Barat dan Guatemala. [2]

Menurut laporan Badan Pusat Statistik (BPS), pada periode 2022, jumlah produksi buah alpukat di Indonesia mencapai 865.780 ton. Jumlah tersebut meningkat sebesar 27.7% dibandingkan tahun sebelumnya yang sebesar 669.260 ton. Hasil produksi buah alpukat ini tidak hanya dipasarkan di pasar nasional saja, tetapi juga diekspor ke luar negeri. Dirjen Hortikultura, Kementerian Pertanian RI, Prihasto Setyanto, menyebutkan bahwa hasil alpukat ini diekspor sebanyak 400 ton per tahun. Berdasarkan jumlah ekspor tersebut, Indonesia berhasil menduduki peringkat kelima dunia sebagai negara pengekspor alpukat terbesar. [3]

Daerah Penghasil Alpukat Terbanyak di Indonesia 2022



Gambar 1.1 Daerah Penghasil Alpukat Terbanyak di Indonesia 2022 [3]

Indonesia memiliki sejumlah provinsi yang dikenal sebagai penghasil alpukat terbesar. Berdasarkan laporan BPS periode 2022, berikut adalah daftar provinsi dengan produksi alpukat tertinggi:

1. Jawa Timur: 183.258 ton
2. Jawa Tengah: 130.029 ton
3. Jawa Barat: 121.326 ton
4. Sumatra Barat: 112.723 ton
5. Aceh: 85.794 ton
6. Sumatra Selatan: 53.149 ton
7. Sumatra Utara: 50.511 ton
8. Lampung: 22.420 ton
9. Nusa Tenggara Timur: 22.382 ton
10. Jambi: 12.885 ton

Jawa Timur menempati posisi pertama dengan produksi mencapai 183.258 ton. Provinsi ini memiliki luas lahan perkebunan alpukat yang signifikan, dengan jenis alpukat unggulan seperti Alpukat Aligator dan Alpukat Miki. Jawa Tengah menyusul dengan produksi sebanyak 130.029 ton, di mana perkebunan di provinsi ini juga banyak menghasilkan Alpukat Kendil dan Alpukat Mentega. Jawa Barat berada di urutan ketiga dengan produksi 121.326 ton, terkenal dengan Alpukat Hass

dan Alpukat Mega. Sumatra Barat juga merupakan produsen utama dengan produksi 112.723 ton, diikuti oleh Aceh dengan 85.794 ton, di mana Alpukat Buttter adalah salah satu varietas yang dihasilkan. Sumatra Selatan dan Sumatra Utara masing-masing memproduksi 53.149 ton dan 50.511 ton alpukat, dengan jenis yang umum adalah Alpukat Markole dan Alpukat Wina. Lampung dengan produksi 22.420 ton, Nusa Tenggara Timur dengan 22.382 ton, dan Jambi dengan 12.885 ton. [3]

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Daerah asal alpukat adalah di Amerika Tengah, yaitu Meksiko, Guatemala dan Honduras. Buah ini dibudidayakan dari Rio Grande hingga Peru Tengah sebelum kedatangan orang Eropa. Sekarang dibudidayakan di tempat lain di daerah tropis dan subtropis di seluruh dunia (Lim, 2012). Orang Eropa awal menemukan alpukat, dibudidayakan dan didistribusikan ke seluruh Amerika Tengah dan Amerika Selatan bagian utara selama abad ke-16. Bukti dari hal ini adalah nama asli alpukat yang diberikan dalam berbagai bahasa dan temuan arkeologi. Penanggalan karbon mengindikasikan bahwa alpukat Meksiko telah digunakan sebagai makanan sejak 9000-10.000 tahun yang lalu. Catatan awal menunjukkan bahwa alpukat tidak dibudidayakan di kepulauan Karibia selama periode pra-Columbus dan diperkenalkan ke Jamaika oleh orang Spanyol sekitar tahun 1650. Penyebaran ke daerah tropis Afrika dan Asia terjadi pada tahun 1700-an dan 1800-an. Impor pertama yang tercatat ke Florida adalah tahun 1833, ke California pada tahun 1848 dan ke Hawaii pada awal abad ke-19. Pada tahun 1855, pohon alpukat banyak ditemukan di kebun-kebun di Oahu dan didistribusikan ke pulau-pulau lain di kepulauan Hawaii. Sekarang tersebar luas di seluruh daerah tropis dan subtropis, tetapi penggunaan buahnya berbeda di daerah yang berbeda (Janick dan Paull, 2008). Tanaman alpukat diduga masuk Indonesia pada abad ke 18 dan sekarang sudah menyebar hampir di seluruh pelosok tanah air (Syah, 2018). [4]

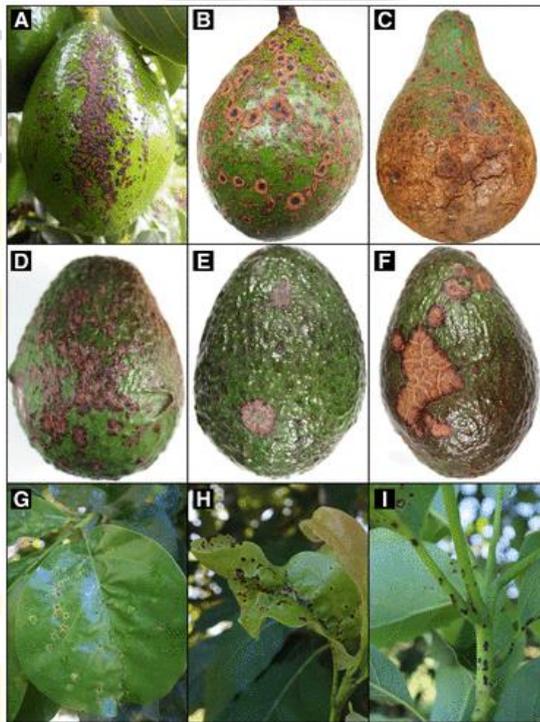


Gambar 1.2 Buah Alpukat (*Persea americana* Mill.) [4]

Buah alpukat bentuknya beragam mulai dari bulat, bulat lonjong, bulat meruncing, bulat seperti bohlam sampai lonjong, 8–18 cm. Buah berwarna kuning kehijauan, hijau tua atau hijau sangat tua, ungu kemerahan, atau ungu tua hingga tampak hampir hitam, dan kadang-kadang berbintik-bintik kuning kecil, mungkin halus atau berkerikil, mengkilap atau kusam, tipis atau kasar dan tebal mencapai 6 mm, lentur atau berbutir dan rapuh. Buah alpukat berukuran kecil hingga besar dengan berat bervariasi mulai 100-2.300 g. Buah alpukat ada juga memiliki bercak atau bintik halus berwarna keunguan, daging lunak ketika sudah matang (Lim, 2012; Syah, 2018). Daging buah terlepas dari biji. Daging tersebut hanya dibatasi oleh selaput kulit biji yang tebal. Bila sudah tua, selaput kulit biji berwarna abu-abu kecoklatan yang membalut biji (Sunarjono, 2016). Biji tunggal berbentuk pipih, bulat, berbentuk kerucut atau bulat telur, besar, panjang 5–6,4 cm, keras dan berat, berwarna gading tetapi tertutup oleh dua lapisan biji berwarna coklat, tipis, dan tipis yang sering menempel pada rongga daging, biji mudah keluar (Lim, 2012). [4]

Keropeng alpukat, yang disebabkan oleh jamur *Elsinoe perseae*, merupakan penyakit utama pada alpukat (*Persea americana* Mill.). Diagnosis keropeng alpukat terhambat oleh kemiripan gejala lanjut dengan cacat buah yang disebabkan oleh etiologi lain (misalnya, cedera mekanis dan kerusakan akibat serangga). Tujuan panduan diagnostik ini adalah untuk menetapkan aspek-aspek kunci dalam identifikasi gejala dan tanda keropeng alpukat di lapangan dan laboratorium, serta untuk memberikan panduan dalam melakukan isolasi, identifikasi (yaitu,

berdasarkan karakteristik morfologi, uji berbasis molekuler), pemeliharaan, penyimpanan, dan uji patogenisitas jamur *E. Perseeae*. Inang terbatas pada alpukat (*Persea americana Mill.*). Penyakit Keropeng atau keropeng alpukat. Dalam bahasa Spanyol, penyakit ini disebut "roña del aguacate" atau "roña del palto". [5]



Gambar 1.3 Gejala penyakit yang disebabkan oleh *E. Perseeae* [5]

Elsinoe perseae dikaitkan dengan gejala yang diamati pada buah alpukat Pada Gambar 1.3 (Gambar A hingga F), daun (Gambar G dan H), dan jaringan batang muda (Gambar I) Seperti banyak spesies *Elsinoe* lainnya, gejala penyakit yang disebabkan oleh *E. perseae* terutama dikenali dari tampilan seperti gabus atau keropeng pada jaringan terinfeksi yang lebih tua. Namun, lesi seperti gabus atau keropeng pada buah juga dapat disebabkan oleh cedera mekanis akibat gesekan buah atau kerusakan akibat angin. Dengan demikian, mengenali gejala penyakit tahap awal sangat penting untuk diagnosis. [5]

Meskipun rincian mengenai masa inkubasi patogen dan kerentanan usia jaringan inang masih belum jelas, gejala keropeng dapat diamati pada setiap tahap perkembangan buah (yaitu, dari pembentukan buah hingga kematangan fisiologis).

Gejala keropeng awal umumnya ditandai sebagai lesi bercak berwarna coklat keunguan hingga hampir hitam yang berukuran hingga 3 mm diameternya. Dalam kondisi yang menguntungkan, lesi keropeng yang baru terbentuk pada jaringan inang menghasilkan aservuli (Gambar A), yang meletus melalui kulit buah (eksokarp) dan menghasilkan konidia. Saat penyakit berlanjut, lesi individual menjadi sedikit menonjol, membesar diameternya (hingga 10 hingga 12 mm), dan memiliki bentuk yang lebih jelas yaitu oval hingga bulat dengan tepi yang utuh (misalnya, pada alpukat dengan kulit halus; lihat Gambar A hingga C) atau tepi yang tidak beraturan (misalnya, pada alpukat dengan kulit tebal dan bergelombang; lihat Gambar D hingga F). Lesi dapat tersebar atau berkelompok, membentuk massa berkeropeng yang lebih besar dan tidak beraturan (Gambar A dan D). Tepi lesi keropeng individual mungkin tetap berwarna coklat keunguan (Gambar 1E), yang mewakili area tempat patogen terus menjajah jaringan sehat, atau menjadi kering, retak, dan dengan tampilan seperti gabus atau keropeng, yang mewakili area jaringan sel mati (Gambar B). Seiring waktu, lesi dapat menyatu, menyebabkan gejala seperti gabus atau keropeng yang lebih parah (Gambar C dan F). Pada kasus infeksi yang parah dan terjadi segera setelah buah terbentuk, penggabungan lesi di sekitarnya dapat mengakibatkan buah yang matang secara fisiologis retak atau pecah (Gambar C dan F). Sebagai cacat estetika, keropeng alpukat secara langsung memengaruhi komersialisasi alpukat dengan menurunkan nilai buah atau menyebabkan penolakan di tempat pengemasan. Di Florida, insiden penyakit (yaitu, jumlah buah dengan gejala keropeng per total buah yang dipanen) dapat lebih tinggi dari 90% jika tidak ada strategi pengendalian penyakit yang dilakukan pada kultivar yang sangat rentan seperti Trapp dan Lula. Selain itu, kerusakan keropeng dapat berfungsi sebagai pintu gerbang bagi invasi patogen lain, seperti anggota kompleks spesies *Colletotrichum gloeosporioides*, yang dapat meningkatkan kehilangan buah akibat gugurnya buah akibat antraknosa atau, selama pasca panen, akibat pembusukan buah. [5]

Tanda-tanda alpukat busuk dapat diidentifikasi dari karakteristik fisiknya. Perhatikan tekstur, bentuk dan warna kulit, warna daging, bau, serta adanya jamur. Pastikan alpukat yang yang dibeli bebas dari berbagai indikasi pembusukan. [6]

1. Warna Kulit Menghitam

Indikasi pertama alpukat busuk adalah warna kulit yang menghitam. Alpukat umumnya berwarna hijau cerah saat mentah, lalu berubah menjadi hijau tua dan kecokelatan saat matang. Jika melihat alpukat berwarna kehitaman, kemungkinan besar buah tersebut sudah terlalu matang atau bahkan busuk. Namun, perlu diingat bahwa beberapa jenis alpukat tetap berwarna hijau meskipun sudah busuk, sehingga penting untuk memperhatikan teksturnya juga.

2. Tekstur Terlalu Lembek

Tekstur yang terlalu lembek merupakan tanda alpukat busuk. Dapat memeriksa tekstur alpukat dengan menekannya perlahan menggunakan telapak tangan. Jika buah terasa sangat padat dan agak keras, ini menandakan buah tersebut belum matang. Sebaliknya, jika buah terasa agak lunak, ini menunjukkan buah sudah matang dan siap dikonsumsi.

Namun, jika saat ditekan alpukat menunjukkan sedikit lekukan kecil, ini mengindikasikan dagingnya sudah terlalu matang. Jika menemui alpukat dengan ciri-ciri ini, sebaiknya konsumsi dengan cara dihaluskan.

Jika tekstur alpukat sangat lembek dan menyebabkan cekungan besar saat ditekan, ini menandakan alpukat sudah terlalu matang. Apabila sebelum ditekan sudah ada cekungan, ini menunjukkan buah alpukat sudah membusuk.

3. Berjamur

Tanda alpukat busuk yang paling mudah dikenali adalah ketika buah sudah berjamur. Jika alpukat ditumbuhi jamur putih atau abu-abu, ini menandakan bahwa buah tersebut sudah tidak layak konsumsi. Bahkan, sebaiknya tidak mencium aroma buah alpukat yang sudah berjamur, karena dapat menyebabkan masalah pencernaan.

Meskipun jamur hanya tumbuh di permukaan kulit alpukat, ini dapat menembus daging buah dan menyebabkan kerusakan. Jika menemukan ciri-ciri ini, sebaiknya

langsung buang buah alpukat. Jangan mencoba untuk mencongkel atau memotongnya dan tetap menyantap sisa buahnya, karena kontaminasi jamur tetap bisa terjadi. Jamur tersebut dapat menyebar ke seluruh buah melalui dagingnya.

4. Bau Tidak Sedap

Tanda alpukat busuk selanjutnya adalah baunya yang tidak sedap atau asam. Alpukat yang memiliki rasa dan aroma asam telah terkontaminasi bakteri dan harus dibuang.

Aroma asam ini terjadi karena oksigen atau mikroba telah merusak atau memecah lemak tak jenuh pada buah. Bahkan, bau tersebut juga dapat menandakan terbentuknya senyawa yang berpotensi beracun.

Dapat memilih alpukat yang baik dengan mengenali ciri-ciri aromanya. Alpukat yang matang memiliki aroma yang agak manis dan mirip kacang.

5. Warna Daging Buah Menghitam

Ketika warna daging buah sudah menghitam, ini menandakan bahwa buah alpukat busuk. Hal ini biasanya juga diikuti dengan tekstur dagingnya yang lembek dan sangat berserat. [6]

Salah satu tantangan utama dalam budidaya dan distribusi Alpukat (*Persea americana Mill.*) adalah tingginya tingkat kerusakan buah akibat kematangan yang tidak seragam serta daya tahan yang relatif rendah. Kondisi ini menyebabkan peningkatan jumlah buah yang membusuk sebelum mencapai konsumen, mengurangi keuntungan bagi petani dan pedagang.

Selain itu, faktor ketidakseragaman tingkat kematangan juga menjadi kendala utama dalam rantai distribusi. Alpukat yang belum matang sering kali tidak dapat langsung dikonsumsi oleh pembeli, sementara alpukat yang terlalu matang cenderung mengalami penurunan kualitas rasa dan tekstur. Hal ini menyulitkan petani, distributor, dan pemilik usaha dalam menentukan waktu panen yang optimal dan mengurangi daya saing Alpukat (*Persea americana Mill.*) di pasaran.

Untuk mengatasi masalah kesulitan yang dialami oleh petani, distributor, dan pemilik usaha Alpukat (*Persea americana Mill.*) karena buahnya yang sering mengalami kerusakan ataupun membusuk ini terdapat beberapa solusi yang telah ada sebagai berikut:

Tabel 1.1 Solusi Yang Telah Ada

Solusi	Kelebihan	Kekurangan
Penggunaan Bahan Kimia Pelapis (Coating) [7]	Pelapis alami atau kimiawi pada permukaan alpukat dapat memperlambat respirasi buah, sehingga memperpanjang masa simpan. Beberapa jenis pelapis dapat memberikan perlindungan tambahan terhadap kerusakan fisik ringan.	Biaya tambahan untuk bahan pelapis. Tidak efektif jika buah mengalami kerusakan fisik yang signifikan sebelum pelapisan. Perlu pengujian lebih lanjut untuk melihat efeknya terhadap kualitas rasa dan keamanan pangan.
Penggunaan Bahan Pengemas yang Lebih Lembut [8]	Beberapa petani telah beralih menggunakan bahan pengemas seperti <i>bubble wrap</i> atau <i>Styrofoam</i> untuk melindungi buah selama distribusi. Ini bertujuan untuk mengurangi gesekan dan benturan	<i>Styrofoam</i> tidak ramah lingkungan dan sulit didaur ulang. Plastik bisa menyebabkan akumulasi kelembapan di dalam wadah, yang justru mempercepat pembusukan. Biaya pengemasan lebih tinggi, terutama untuk <i>styrofoam</i> .

Pendinginan Manual Setelah Pemanenan [9]	Relatif efektif dalam memperlambat pembusukan alpukat. Tidak membutuhkan biaya teknologi tinggi, hanya pendingin sederhana seperti <i>coolbox</i> .	Bergantung pada keahlian manual untuk menjaga suhu yang konsisten. Tidak praktis untuk penyimpanan dalam jumlah besar.
--	---	--

1.1.2 Analisis Masalah

1. Aspek Ekonomi

Diharapkannya dengan terselesaikannya masalah ini petani dapat mengurangi kerusakan buah. Ini memungkinkan mereka menjual alpukat dengan kualitas lebih baik dan harga lebih tinggi. Secara langsung, ini meningkatkan pendapatan petani dan membuka peluang ekspor yang lebih luas karena kualitas produk yang lebih terjamin.

2. Aspek Lingkungan

Diharapkannya dengan mengurangi buah yang rusak atau membusuk, juga akan mengurangi limbah dan menjaga kelestarian lingkungan.

3. Aspek Manufakturabilitas

Diharapkannya alat yang akan dirancang mudah untuk diproduksi, terjangkau, dan mudah digunakan oleh petani alpukat (*Persea americana Mill.*).

4. Aspek Kesehatan

Diharapkannya dengan terselesaikannya masalah ini buah alpukat yang dikirim ke pasar akan memiliki kualitas yang lebih baik dan aman untuk dikonsumsi. Hal ini akan mengurangi risiko buah rusak ataupun membusuk yang dapat menyebabkan masalah kesehatan bagi konsumen.

1.1.3 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan permasalahan alpukat (*Persea americana Mill.*) yang sering mengalami kerusakan ataupun membusuk.

1. Alat harus mampu beradaptasi dengan berbagai ukuran buah alpukat (*Persea americana Mill.*)

Alat ini harus dapat memproses berbagai ukuran buah alpukat yang beragam dengan diameter dari 7 hingga 10 cm.

2. Alat harus dapat mengenali tingkat kematangan dari tiap buah alpukat (*Persea americana Mill.*)

Alat ini mampu mengenali berbagai tingkat kematangan dari buah alpukat yaitu mentah, matang, dan busuk.

3. Alat harus dapat mengenali penyakit pada kulit buah alpukat (*Persea americana Mill.*)

Alat ini harus mampu mendeteksi adanya penyakit keropeng (*scab*) pada buah alpukat yang terdampak jamur *Elsinoe perseae*.

4. Alat harus mampu melakukan proses sortasi otomatis setelah mengenali tingkat kematangan ataupun kerusakan alpukat (*Persea americana Mill.*) sehingga dapat diklasifikasikan secara otomatis.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan dari semua analisis masalah dan kebutuhan yang sudah dipaparkan, tujuan yang ingin dicapai oleh penulis adalah dengan menjaga kualitas hasil panen alpukat (*Persea americana Mill.*), meningkatkan daya saing Alpukat (*Persea americana Mill.*) di pasaran, serta menjaga mutu dari Alpukat (*Persea americana Mill.*) dengan sebaik mungkin hingga sampai ke tangan konsumen, dan diharapkan memperbaiki kesejahteraan petani dan pemilik usaha alpukat (*Persea americana Mill.*).

1.2 Solusi

1.2.1 Karakteristik Produk

Fitur Dasar:

1. Sistem Komputasi (*Computing System*)

Alat ini harus dilengkapi dengan sistem komputasi yang mampu melakukan analisis dan pengolahan data secara real-time. Sistem ini akan memproses informasi untuk menghasilkan keputusan yang cepat dan akurat.

2. Sistem Pendeteksi (*Detection System*)

Alat ini harus memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi kondisi buah.

3. Sistem Kontrol (*Control System*)

Sistem kontrol harus dapat mengatur semua mekanisme dalam alat.

4. Sistem Waktu Nyata (*Real-Time System*)

Alat ini harus mampu beroperasi dalam waktu nyata, sehingga setiap perubahan kondisi buah dapat segera direspons. Dengan sistem waktu nyata, pengguna dapat langsung mengetahui status buah dan mengatur tindakan yang diperlukan.

5. Akurasi (*Accuracy*)

Alat ini dirancang harus menghasilkan output yang cukup akurat pada buah alpukat. Proses analisis dilakukan menggunakan algoritma dan metode yang dirancang khusus untuk meminimalkan kesalahan. Dengan kemampuan ini, alat dapat memberikan penilaian yang konsisten dan dapat diandalkan, sehingga mendukung pengolahan pascapanen secara efisien dan efektif.

6. Pengolahan Data (*Data Processing*)

Alat ini harus dapat melakukan mengolah data hasil deteksi dan analisis secara efisien, memastikan informasi yang dihasilkan akurat dan relevan. Dengan pengolahan data yang cepat dan presisi, alat yang dibuat mampu memberikan keputusan secara real-time, mendukung kelancaran proses.

Fitur Tambahan:

1. Efisiensi Kerja (*Work Efficiency*)

Alat ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi kerja petani alpukat (*Persea americana Mill.*). Dengan alat yang dibuat, diharapkan petani dapat menghemat waktu dan tenaga, sehingga memungkinkan mereka untuk fokus pada kegiatan pertanian lainnya dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan.

2. Biaya Rendah (*Low Cost*)

Solusi diharapkan dapat dirancang dengan komponen yang terjangkau tanpa mengorbankan kualitas. Dengan biaya produksi yang rendah, alat ini dapat diakses oleh lebih banyak petani, meningkatkan adopsi teknologi dalam industri pertanian.

3. Pemantauan (*Monitoring*)

Alat ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi buah.

4. Pemeliharaan (*Maintenance*)

Alat ini dirancang agar mudah dirawat dan diperbaiki. Panduan pemeliharaan yang jelas dan ketersediaan suku cadang akan memastikan alat tetap berfungsi dengan baik dan meminimalkan waktu henti akibat kerusakan.

5. Desain Ergonomis (*Ergonomic Design*)

Diharapkan alat memiliki desain ergonomis sehingga alat ini mudah digunakan, tidak terlalu banyak makan tempat dalam pengoperasiannya sehari-hari.

6. Terintegrasi dengan Web/Mobile App (*Integrated with Web/Mobile App*)

Alat ini dapat terintegrasi dengan aplikasi web atau mobile yang memungkinkan pengguna untuk mengakses data. Integrasi ini memberikan kemudahan dalam pengelolaan dan pemantauan aktivitas alat.

1.2.2 Usulan Solusi

Solusi 1: Sistem Pendeteksi dan Sortasi Alpukat (*Persea americana Mill.*) Berdasarkan Analisis Sensor Warna Berbasis Mikrokontroler.

Solusi 2: Sistem Pendeteksi dan Sortasi Alpukat (*Persea americana Mill.*) Berbasis Analisis Tekanan.

Solusi 3: Sistem Pendeteksi dan Sortasi Alpukat (*Persea americana Mill.*) Berbasis Pengolahan Citra dengan *Machine Learning*.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

Solusi 1: Solusi ini menggunakan analisis warna untuk mendeteksi kematangan alpukat secara otomatis. Dengan memanfaatkan teknologi sensor warna, sistem dapat mengidentifikasi tingkat kematangan berdasarkan spektrum warna kulit alpukat. Sistem ini memastikan bahwa alpukat yang belum matang, matang, dan terlalu matang dapat terklasifikasi dengan baik. Teknologi ini tergolong sederhana namun cukup efektif.

Solusi 2: Solusi ini menggunakan sensor tekanan untuk mendeteksi kerusakan atau tingkat kekerasan alpukat. Dengan menempatkan alpukat pada platform dengan sensor tekanan, sistem dapat mengukur kekerasan buah yang menjadi indikator kerusakan fisik atau tingkat kematangan. Data yang dihasilkan dianalisis untuk memutuskan apakah alpukat layak dipasarkan atau perlu penanganan khusus. Teknologi ini sangat cocok untuk mendeteksi kerusakan yang tidak terlihat secara visual, memberikan manfaat besar dalam menjaga kualitas alpukat.

Solusi 3: Solusi ini menggunakan teknologi *machine learning*, khususnya *Convolutional Neural Network* (CNN), untuk mendeteksi tingkat kematangan alpukat secara otomatis. Kamera atau sensor optik akan memindai warna, tekstur, dan karakteristik visual lainnya dari alpukat, lalu memproses data tersebut menggunakan model yang telah dilatih untuk mengenali tingkat kematangan. Dengan demikian, sistem yang dapat menilai alpukat berdasarkan kematangannya memudahkan pengemasan buah yang sesuai untuk dijual atau disimpan.

Relationship matrix		
	Strong	5
	Medium	3
	Weak	1
	No relation	0

Gambar 1.4 Relationship matrix



Solusi
Solusi 1: Sistem Pendeteksi dan Sortasi Alpukat (<i>Persea americana Mill.</i>) Berdasarkan Analisis Sensor Warna Berbasis Mikrokontroler.
Solusi 2: Sistem Pendeteksi dan Sortasi Alpukat (<i>Persea americana Mill.</i>) Berbasis Analisis Tekanan.
Solusi 3: Sistem Pendeteksi dan Sortasi Alpukat (<i>Persea americana Mill.</i>) Berbasis Pengolahan Citra dengan <i>Machine Learning</i> .

Gambar 1.5 Solusi pada HoQ

		Customer importance rating (1 = low, 5 = high)	Percent of customer importance rating	Fitur Dasar						Solusi		
				▲	▲	▼	▲	▲	▲	1	2	3
				Computing System	Detection System	Control System	Real-Time System	Accuracy	Data Processing			
Fitur Tambahan	Work Efficiency	5	27,8%	●	●	●	●	●	●	●	▲	●
	Low Cost	2	11,1%	▲	▲	●	▲	●	▲	●	●	●
	Monitoring	1	5,6%	●	●	●	●	●	●	▲	●	●
	Maintenance	3	16,7%	▲	●	●	▲	●	●	●	●	●
	Ergonomic Design	4	22,2%	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Integrated with Web/Mobile App	3	16,6%	●	●	●	●	●	●	▲	▲	▲
		Importance rating		32	43	51	20	14	29	3,11	2,56	3,11
		Percent of importance		16,9%	22,8%	27,0%	10,6%	7,4%	15,3%			
Solusi	Solusi 1			▲	●	●	●	▲	●	2,73		
	Solusi 2			●	●	●	▲	●	▲	2,97		
	Solusi 3			●	●	●	●	●	●	4,15		

Gambar 1.6 House of Quality

Berdasarkan Tabel *House of Quality* diatas didapatkan *point* hasil akhir dari setiap solusi sebagai berikut:

Fitur dasar:

$$\text{Solusi 1: } 1 \times 16,9\% + 3 \times 22,8\% + 3 \times 27,0\% + 5 \times 10,6\% + 1 \times 7,4\% + 3 \times 15,3\% = 2,726$$

$$\text{Solusi 2: } 5 \times 16,9\% + 3 \times 22,8\% + 3 \times 27,0\% + 1 \times 10,6\% + 5 \times 7,4\% + 1 \times 15,3\% = 2,968$$

$$\text{Solusi 3: } 5 \times 16,9\% + 5 \times 22,8\% + 3 \times 27,0\% + 5 \times 10,6\% + 5 \times 7,4\% + 3 \times 15,3\% = 4,154$$

Fitur Tambahan:

$$\begin{aligned} \text{Solusi 1: } & 3 \times 27.8\% + 5 \times 11.1\% + 1 \times 5.6\% + 5 \times 16.7\% + 3 \times 22.2\% + 1 \times 16.6\% \\ & = 3,112 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Solusi 2: } & 1 \times 27.8\% + 3 \times 11.1\% + 3 \times 5.6\% + 3 \times 16.7\% + 5 \times 22.2\% + 1 \times 16.6\% \\ & = 2,556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Solusi 3: } & 3 \times 27.8\% + 3 \times 11.1\% + 5 \times 5.6\% + 5 \times 16.7\% + 3 \times 22.2\% + 1 \times 16.6\% \\ & = 3,114 \end{aligned}$$

Pada fitur dasar solusi 1 memiliki kecepatan yang sangat tinggi dibandingkan 2 solusi lainnya. Namun, pada solusi 1 tidak memerlukan komputasi yang rumit karena hanya mendeteksi melalui sensor warna saja, sehingga keakuratan pada pendeteksian tergolong rendah, solusi 2 membutuhkan waktu yang sedikit lebih lama dibandingkan karena harus melakukan kontak fisik terlebih dahulu kepada alpukatnya. Sedangkan pada solusi 3 menggunakan pengolahan citra gambar yang telah dilatih, maka memiliki keakuratan yang cukup tinggi. Kemudian, pada fitur tambahan solusi 1 cukup unggul dalam segi biaya, namun cukup sulit untuk melakukan pemantauan pada sistem, solusi 2 unggul pada desain yang ergonomis, tetapi memiliki kekurangan pada kemampuan efisiensi kerjanya, sedangkan pada solusi 3 memiliki kemampuan yang cukup rata-rata dan sedikit unggul pada segi pemantauan karena menggunakan metode *machine learning*.

1.2.4 Solusi yang Dipilih

Berdasarkan analisis *House of Quality* (HoQ) pada Gambar 1.4, solusi yang dipilih adalah Solusi 3 karena menawarkan keseimbangan terbaik antara keakuratan, efisiensi kerja, dan kemampuan pemantauan. Dengan memanfaatkan pengolahan citra gambar berbasis *machine learning*, solusi ini memiliki keakuratan yang tinggi dibandingkan solusi lainnya, meskipun waktu yang dibutuhkan sedikit lebih lama dibandingkan solusi 1. Keunggulan lain adalah kemampuan pemantauan yang baik, karena integrasi teknologi *machine learning* mempermudah pemantauan sistem secara *real-time*. Walaupun biaya dan efisiensi kerja solusi ini tergolong rata-rata,

keunggulannya pada akurasi dan pemantauan menjadikannya pilihan yang lebih unggul dibandingkan solusi 2 dan 3.

