

B100

DOKUMEN TEKNIS PROPOSAL PRODUK

Pendahuluan

1.1 Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen ini berisikan uraian proposal proyek pengembangan *Smart Indoor Vertical Farming*. Kajian kelayakan pengembangan produk ditinjau dari sisi teknis, ekonomis dan strategis. Dokumen ini digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan proyek dan pengerjaan produk *Smart Indoor Vertical Farming* yang direncanakan.

1.2 Tujuan Penulisan, Aplikasi dan Fungsi Dokumen

Dokumen ini berlaku untuk pengembangan produk *Smart Indoor Vertical Farming* untuk:

- 1) Sebagai gambaran umum dari segi teknis maupun non-teknis tugas akhir yang dikerjakan.
- 2) Memastikan kelayakan tugas akhir, baik dari segi teknis, biaya, waktu maupun strategis.
- 3) Menjadi catatan proses pengerjaan dan revisi yang dilakukan.

Proposal ini diajukan kepada dosen pembimbing tugas akhir dan tim tugas akhir Program Studi Teknik Elektro UMN sebagai bahan penilaian mata kuliah Metodologi Penelitian dan Skripsi.



Proposal Pengembangan Produk

2.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang dikenal sebagai negara agraris. Produktivitas panen hasil tanaman yang dihasilkan memiliki peranan krusial dalam perekonomian nasional. Pertanian sendiri memiliki beberapa kategori lanjutan seperti tanaman pangan, perkebunan, dan kehutanan. Berdasarkan data Survei Angkatan Kerja Nasional (Sakernas) bulan Februari 2020, sekitar 29,04% penduduk Indonesia masih bekerja pada sektor pertanian sebagai pekerjaan utamanya [1]. Pertanian merupakan salah satu fondasi negara Indonesia untuk memperkuat ekonomi dan pertahanan nasional. Pemerintah Indonesia sendiri juga menargetkan adanya perkembangan hasil pertanian yang semakin meningkat demi mewujudkan swasembada pangan yang terjadi pada masa yang akan datang.

Rencana Induk Riset Nasional untuk Tahun 2017-2045 telah menargetkan beberapa hal terkait bidang pertanian untuk mencapai swasembada pangan serta ketahanan pangan yang lebih baik. Rencana tersebut antara lain pemanfaatan teknologi untuk pemuliaan bibit tanaman, teknologi budidaya dan pemanfaatan lahan sub-optimal, teknologi pascapanen, dan teknologi ketahanan dan kemandirian pangan [2]. Pemerintah Indonesia dalam bidang riset dan penelitian mengutamakan riset terkait pemanfaatan teknologi untuk menghasilkan bibit tanaman unggul serta peningkatan kemampuan pascapanen dari hasil pertanian.

Namun, penelitian terkait bibit unggul dan hasil pascapanen belumlah cukup untuk mencapai ketahanan pangan yang ditargetkan pemerintah Indonesia. Terdapat beberapa faktor lainnya yang dapat menjadi hambatan. Salah satu hambatan yang sedang dihadapi saat ini adalah keterbatasan lahan pertanian. Pemerintah Indonesia mengakui bahwa lahan pertanian menurun sebanyak 650.000 ha dari tahun ke tahun [3]. Penyebab lahan pertanian semakin menurun adalah maraknya alih fungsi lahan yang digunakan untuk berbagai pembangunan seperti pembangunan pemukiman penduduk [4] [5]. Selain itu, keterbatasan lahan yang terjadi sekarang tidak mungkin dapat diselesaikan dengan pengembangan bibit unggul karena peningkatan penduduk di Indonesia cukup pesat. Periode sensus penduduk 2010-2020 memperlihatkan bahwa populasi penduduk di Indonesia bertambah 32.5 juta jiwa [6]. Penambahan jumlah penduduk yang cukup pesat mengakibatkan perlunya lahan khusus pemukiman penduduk yang lebih luas pula. Tentunya hal ini perlu menjadi pertimbangan agar dicari sebuah solusi agar para pengelola pangan dapat menghasilkan hasil pertanian yang produktif dalam jumlah yang banyak dengan lahan yang terbatas. Apabila permasalahan lahan ini tidak diselesaikan, maka produktivitas hasil pertanian dikhawatirkan menurun tiap tahunnya. Hasil pertanian yang menurun tentu memaksa pemerintah untuk melakukan impor yang mengakibatkan goyahnya ketahanan pangan Indonesia.



Jumlah Penduduk Hasil Sensus (Juta Jiwa)



Gambar 1 – Hasil Sensus Penduduk periode 1961 hingga 2020

Sumber: <https://www.beritasatu.com/>

Dalam mengatasi permasalahan ini, berbagai penelitian dan pengembangan produk berbasis teknologi telah dilakukan. Salah satu penelitiannya adalah terkait *Smart Indoor Vertical Farming* dengan metode penanaman hidroponik. *Smart Indoor Vertical Farming* merupakan metode penanaman tanaman yang dilakukan pada dalam ruangan yang tertutup dengan dilakukan berbagai pengendalian sistem agar tanaman dapat tumbuh dan dapat dipanen. Pengendalian yang umumnya dilakukan pada *Smart Indoor Vertical Farming* antara lain pengendalian nutrisi tanaman, pengendalian suhu dan kelembaban ruangan, pengendalian pencahayaan, pengendalian aliran udara, dan pengendalian volume CO₂. Tujuan dari *Smart Indoor Vertical Farming* ini adalah memanfaatkan lahan yang terbatas untuk menghasilkan hasil panen yang banyak serta memberikan kemudahan menanam tanaman yang independen terhadap kondisi cuaca maupun hama. Metode penanaman hidroponik umumnya digunakan karena teknik penanaman tanaman tidak memerlukan media tanam yang luas dan dapat dimodifikasi untuk disusun secara bertingkat. Selain itu, metode tersebut menggunakan volume air yang lebih sedikit dibandingkan irigasi pada lahan media tanah. Dengan demikian, selain menjawab persoalan terkait keterbatasan lahan, *Smart Indoor Vertical Farming* ini juga menjawab persoalan mengenai penghematan air dalam pertanian.

Penelitian yang sudah dilakukan dalam pengembangan *Smart Indoor Vertical Farming* umumnya dilakukan pendekatan pengaruh komponen-komponen subsistem terhadap hasil tumbuh kembang tanaman. Pencahayaan LED pada tanaman terbukti memberikan pengaruh positif serta dapat menggantikan peran matahari pada tanaman [7]. Pemilihan warna LED memberikan pengaruh yang berbeda pada tanaman [8]. Lama pencahayaan LED yang meniru matahari juga menjadi pertimbangan penelitian karena apabila dilakukan pencahayaan 24 jam, maka perlu mempertimbangkan biaya listrik yang perlu dikeluarkan [9].

Selain itu, pengendalian sistem nutrisi pada tanaman *Smart Indoor Vertical Farming* sudah pernah dilakukan baik melalui pendekatan PID atau pendekatan *Fuzzy Logic* [10] [11] [12] [13]. Peningkatan volume CO₂ pada *Smart Indoor Vertical Farming* saat sedang berfotosintesis memiliki dampak positif pada tumbuh kembang tanaman [14].

Dari penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, dibuatlah sebuah sistem *Smart Indoor Vertical Farming* yang mengintegrasikan sebagian besar hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Pada suatu penelitian [10], dilakukan pembuatan sistem *Smart Indoor Vertical Farming* yang telah mengintegrasikan sebagian besar subsistem yang esensial, seperti subsistem nutrisi tanaman, subsistem aliran udara, dan subsistem pencahayaan. Hal yang dapat menjadi pertimbangan adalah perlunya revisi sistem terkait volume CO₂ yang dihasilkan serta pencahayaan LED yang digunakan. Volume CO₂ yang dihasilkan dari sistem tersebut mencapai 450ppm. Pencahayaan LED yang dilakukan menggunakan tingkat Lux yang belum optimal.

Perancangan sistem *Smart Indoor Vertical Farming* yang ideal membutuhkan sensor cahaya yang mengukur intensitas foton yang dipancarkan lampu, sensor khusus mengukur CO₂, sensor pH dan EC untuk mengukur kadar nutrisi pupuk tanaman, sensor suhu dan kelembaban, aktuator pompa, aktuator kipas, LED khusus tanaman, aktuator pendingin sistem, dan generator CO₂. Intensitas foton cahaya LED dapat digunakan untuk mengukur PPF_D yang dibutuhkan tanaman. Generator CO₂ digunakan agar sistem *Smart Indoor Vertical Farming* memiliki volume CO₂ yang konstan. Pendingin sistem digunakan agar tanaman memiliki suhu udara yang sejuk.

Perancangan sistem di atas memerlukan pengeluaran biaya yang cukup tinggi, terutama sensor cahaya foton, aktuator pendingin sistem, dan generator CO₂. Apabila diproduksi secara massal, maka sistem *Smart Indoor Vertical Farming* tersebut tidak dapat dinikmati semua kalangan. Solusi alternatif yang peneliti dapat berikan adalah mengganti sensor cahaya serta mencari alternatif penghasil CO₂. Sensor cahaya alternatif yang dapat digunakan adalah sensor LDR. Sensor LDR ini dapat menghasilkan nilai intensitas cahaya dalam satuan Lux. Pada penelitian [15], dipetakan konversi nilai PPF_D dalam nilai Lux berdasarkan cahaya lampu yang digunakan. Dengan mengimplementasi nilai konversi PPF_D tersebut, diharapkan pertumbuhan tanaman yang tetap ideal. Generator CO₂ alternatif yang diajukan oleh peneliti adalah pemanfaatan ragi dan gula untuk menghasilkan gas CO₂ [16]. Ragi dan gula akan mengakibatkan reaksi kimia yang disebut fermentasi. Fermentasi ragi dan gula akan menghasilkan CO₂. Di sini, peneliti ingin memanfaatkan ragi dan gula yang harganya cukup murah apabila dibandingkan dengan tabung CO₂ murni.

Dengan demikian, peneliti akan mengembangkan produk *Smart Indoor Vertical Farming* dengan memanfaatkan berbagai hasil penelitian yang ada lalu diintegrasikan pada sistem produk tersebut. Selanjutnya, digunakan berbagai komponen alternatif untuk menopang sistem *Smart Indoor Vertical Farming* agar produk memiliki harga yang terjangkau tanpa menurunkan kualitas produk.

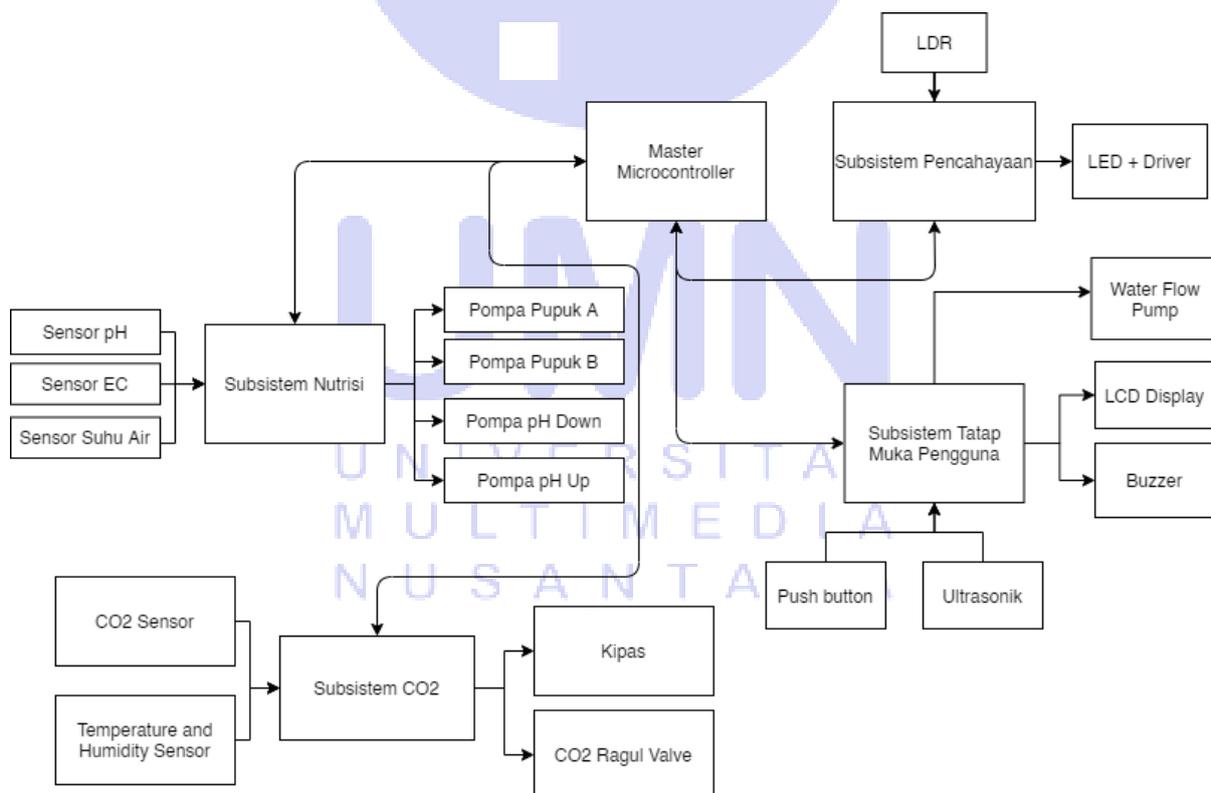
2.2 Konsep Desain

Bagian ini membahas konsep produk secara teknis, tetapi tidak sangat detail. Tujuannya adalah memberikan gambaran umum tentang cara kerja, fungsi, kemampuan/kapasitas, dan karakteristik produk.

2.2.1 Konfigurasi Umum

Smart Indoor Vertical Farming memiliki empat subsistem, yaitu subsistem tatap muka pengguna, subsistem nutrisi, subsistem pencahayaan, subsistem CO₂. Subsistem nutrisi akan berperan dalam mengatur tingkat pupuk cair A dan pupuk cair B serta kadar pH dalam *reservoir*. Subsistem pencahayaan akan mengatur intensitas cahaya sesuai nilai yang ditentukan serta menentukan fotoperiode LED. Subsistem CO₂ akan mengatur aliran CO₂ yang dihasilkan CO₂ agar mencapai titik yang ditentukan. Selain itu, subsistem ini akan dilengkapi dengan kipas yang mengatur aliran CO₂. Subsistem tatap muka pengguna berfungsi untuk mengamati kondisi nilai-nilai sensor yang sedang bekerja.

Pengguna dapat memasukkan nilai CO₂ yang ingin dicapai, intensitas LED, lama pencahayaan tanaman, kadar pH yang ingin dicapai, dan kadar pupuk yang ingin dicapai melalui subsistem tatap muka pengguna. Selanjutnya masing-masing subsistem akan menerima nilai-nilai *set point* serta melakukan proses pengendalian aktuator berdasarkan bacaan sensornya masing-masing.



Gambar 2 – Diagram Modul Sensor *Smart Indoor Vertical Farming*

2.2.2 Kemampuan dan Kapasitas Produk

Produk *Smart Indoor Vertical Farming* yang konfigurasiya diperlihatkan pada gambar 2 dirancang agar memiliki kemampuan sistem secara total sebagai berikut:

- memberikan nutrisi dalam bentuk pupuk cair dan mempertahankan nilai pH nutrisi cairan hidroponik.
- menghasilkan intensitas cahaya yang sesuai konversi nilai PPFd yang direkomendasikan serta memiliki durasi fotoperiode sesuai konfigurasi tanaman tertentu.
- mengamati dan menyediakan CO₂ pada *Smart Indoor Vertical Farming* sesuai kebutuhan nutrisi tanaman.
- mengendalikan pompa dan mengalirkan cairan nutrisi pada penampang tanaman hidroponik secara bertingkat
- mengamati suhu dan kelembaban lingkungan *Smart Indoor Vertical Farming*
- memberikan sirkulasi udara yang baik bagi tanaman hidroponik
- memberikan notifikasi melalui buzzer apabila ketinggian air *reservoir* kurang dari optimalnya

Kapasitas produk yang dapat diberikan oleh proyek *Smart Indoor Vertical Farming* ini adalah sebagai berikut:

- Mampu menampung sebanyak 12-18 pot tanaman hidroponik
- Memiliki wadah hidroponik sebanyak dua tingkat
- Memiliki *reservoir* cairan nutrisi yang besarnya proporsional terhadap besaran produk

2.2.3 Teknologi yang Digunakan

Ada beberapa ilmu, teori, atau teknologi yang digunakan untuk mengembangkan produk *Smart Indoor Vertical Farming*. Realisasi produk *Smart Indoor Vertical Farming* memerlukan:

1. Sensor dan akuisisi data pH, EC, suhu air, intensitas cahaya, suhu dan kelembaban lingkungan, ketinggian air, dan CO₂
2. Mikrokontroler sebagai sistem dan subsistem produk
3. Komunikasi data melalui I2C
4. Aktuator pompa, kipas, dan valve
5. Elektronika dan perancangan PCB untuk menghasilkan integrasi komponen yang lebih tertata rapi
6. Bioteknologi terkait penghasil CO₂ dengan menggunakan ragi dan gula
7. Teori Sistem Kendali Fuzzy
8. Teori Hidroponik Konvensional
9. Teori Kalibrasi dan penggunaan instrumentasi

2.2.4 Batasan-batasan Sistem

Dalam pengembangan produk *Smart Indoor Vertical Farming* ini, terdapat beberapa batasan sistem yang perlu dikemukakan dan menjadi scope proyek selama dilaksanakan. Pertama, mengenai sensor cahaya yang menggunakan sensor LDR. Sensor cahaya khusus mengukur tingkat PPFd memiliki nilai *cost* yang cukup tinggi sehingga apabila diproduksi secara massal, akan menaikkan harga produk secara signifikan. Dalam pengembangan produk ini, peneliti mencoba menggunakan sensor LDR untuk mengukur intensitas PPFd berdasarkan data peneliti sebelumnya yang pernah memetakan nilai PPFd dalam bentuk nilai Lux [15].

Selanjutnya terkait CO₂, alat generator CO₂ pada umumnya memiliki harga yang sangat mahal. Peneliti mengganti generator CO₂ menjadi generator CO₂ alami dengan memanfaatkan

ragi dan gula. Ragi dan gula akan menghasilkan CO₂ dan dapat disimpan dalam tabung CO₂ lalu dialirkan dengan kontrol tertentu agar kebutuhan CO₂ tanaman tetap terpenuhi. Batasan lainnya dengan ragi dan gula ini, peneliti belum mengetahui seberapa lama CO₂ yang dihasilkan campuran ragi dan gula ini bekerja.

Penggunaan jenis tanaman yang akan menjadi percobaan penelitian produk ini ada dua macam, yaitu bayam dan selada. Kedua tanaman ini dipilih dikarenakan durasi panen yang cukup singkat (sekitar 20-30 hari). Selain itu, tanaman tersebut memiliki ukuran yang tidak terlalu besar (sekitar 25cm - 40cm). Batasan tanaman ini bertujuan untuk tetap melihat sistem apakah dapat memberikan lingkungan yang baik bagi tanaman tumbuh hingga panen. Ukuran tanaman yang terlalu besar mengakibatkan ukuran produk menjadi lebih besar (dihindari karena mempengaruhi kebutuhan CO₂ pada sistem, suhu dan kelembaban).

2.3 Skenario Pemanfaatan Produk

Produk *Smart Indoor Vertical Farming* memiliki kelebihan sebagai produk penanaman tanaman yang modular. Produk ini juga memiliki kemampuan skalabilitas yang fleksibel sehingga produk ini bisa digunakan pada ruangan yang besar. Pihak-pihak yang dapat menjadi pengguna produk ini antara lain penduduk di perkotaan yang padat (ibu rumah tangga, mahasiswa, atau individu yang tinggal seorang diri), atau pemilik rumah yang memiliki ruangan yang cukup luas dan kosong sehingga ingin dimanfaatkan dalam segi ekonomi serta senang akan tanaman.

Penduduk di perkotaan yang padat umumnya memiliki ruang yang terbatas sehingga mereka tidak dapat berkebun atau bercocok tanam. Mereka juga memerlukan pembelian sayur-sayuran yang berada pada supermarket atau pasar terdekat. Dikarenakan adanya rantai distribusi pangan yang cukup panjang, maka umumnya harga sayur-sayuran yang beredar memiliki harga yang lebih tinggi. Dengan adanya produk ini, diharapkan penghuni apartemen dapat menghasilkan sayur-sayuran mereka sendiri dan digunakan untuk keperluan sehari-hari mereka.

Pemilik rumah yang memiliki ruangan yang cukup luas serta memiliki jiwa wirausaha yang tinggi dapat memanfaatkan produk ini untuk bercocok tanam sayuran dan hasil panen sayuran tersebut dapat dijual olehnya untuk mendapatkan penghasilan. Produk yang memiliki sistem kendali nutrisi dan lingkungan yang baik diharapkan dapat menghasilkan tanaman berkualitas baik serta berdaya jual yang tinggi bagi pemilik rumah tersebut.

Produksi *Smart Indoor Vertical Farming* secara massal memerlukan beberapa pihak terkait produksi komponen-komponen tertentu. Pada pergerakan pertama, dibutuhkan pemasaran produk terkait kepada khalayak luas dengan cara menanyakan secara langsung kandidat pembeli yang menjadi sasaran utama produk ini. Apabila kebutuhan produk sudah terpenuhi, maka rencana produksi massal produk ini dapat dilanjutkan. Produksi *Smart Indoor Vertical Farming* ini memerlukan berbagai komponen elektronika sehingga diperlukan supplier khusus komponen tersebut. Selanjutnya, diperlukan supplier yang dapat menghasilkan komponen mikrokontroler yang sesuai desain skematik yang disediakan. Pihak lain yang dibutuhkan adalah pihak penyedia bahan untuk mengonstruksi wajah produk beserta wadah tanaman yang digunakan pada sistem produk. Apabila pihak-pihak tersebut terpenuhi, maka

produksi massal dapat berjalan. Skenario pemasaran yang dapat dilakukan selain menyoar pada target utama,

2.4 Nilai Strategis

Nilai strategis ini didekati oleh dua pendekatan utama, yaitu nilai strategis dari sisi teknologi dan nilai strategis dari sisi sosio-ekonomi.

Nilai strategis dari sisi teknologi terutama pada Indonesia adalah adanya pengetahuan dasar terkait pembuatan otomasi sistem hidroponik dalam bentuk *Smart Indoor Vertical Farming*. Riset peneliti Indonesia terkait pertanian masih berfokus pada kualitas bibit yang dihasilkan sedangkan riset produk yang dilakukan peneliti berfokus bagaimana cara memanfaatkan ruang terbatas untuk tetap menghasilkan tanaman yang dapat dimanfaatkan sehari-hari. Otomasi sistem hidroponik ini dilakukan dengan pendekatan yang lebih baik karena peneliti mencoba mengimplementasikan perhitungan intensitas cahaya dengan pendekatan perhitungan foton (bukan berdasarkan kualitas intensitas cahaya yang diamati manusia). Selain itu, percobaan ragul dalam menghasilkan CO₂ dapat diterapkan pula dalam skala besar dengan cara memanfaatkan ekosistem penanaman jamur pada ruang tertentu lalu mengekstrak CO₂ yang dihasilkan dari jamur-jamur tersebut. Selain menghasilkan CO₂, jamur tersebut juga dapat menjadi nilai jual bagi pemilik produk. Apabila produk ini dilihat dari teknologi di luar Indonesia, maka produk ini lebih berada pada posisi mengimplementasikan berbagai hasil penelitian luar negeri dalam sebuah produk yang saling integrasi antara sistem nutrisi, sistem pencahayaan, serta sistem lingkungan *Smart Indoor Vertical Farming*.

Nilai strategis dari sisi sosio-ekonomi adalah adanya pemanfaatan lahan yang lebih optimal ketimbang pembebasan lahan/pengalih fungsi lahan. Masyarakat juga diharapkan dapat menikmati berbagai sayuran dengan harga yang lebih terjangkau karena rantai distribusi pangannya dapat dikurangi dengan adanya produk ini. Produk ini juga berdampak baik bagi lingkungan karena membutuhkan lahan yang terbatas serta hemat air. Produk ini juga dapat mengurangi penggunaan pestisida yang merugikan lingkungan sehingga masyarakat dapat merasakan sayuran dengan kualitas yang konsisten. Apabila skalabilitas produk ini diperbesar, maka produk ini bisa menjadi salah satu objek wisata dalam bentuk agrowisata. Dengan demikian, produk ini bisa menjadi pendapatan lain selain menjual tanaman yang dihasilkan.

Pada pendekatan strategis dengan nilai-nilai *sustainable development goals (SDGs)*, produk ini diharapkan dapat memenuhi tujuan mengakhiri kelaparan, mencapai ketahanan pangan, dan nutrisi yang lebih baik dan mendukung pertanian berkelanjutan [17]. Produk ini diharapkan menghasilkan pertanian yang berkelanjutan serta membantu ketahanan pangan. Adanya produksi sayuran pada wilayah-wilayah masing-masing akan membantu wilayah tersebut untuk tidak melakukan impor sayuran serta memiliki kebutuhan sayuran yang tercukupi.

2.5 Usaha Pengembangan Produk

Produk akhir yang hendak dikembangkan adalah perangkat pemantau cuaca sebagai suatu sistem yang utuh, dengan subsistem berupa modul-modul sensor yang terpisah. Masing-masing modul diarahkan untuk menjadi produk-produk tunggal yang mandiri, memiliki

kompatibilitas untuk dirakit menjadi sistem terpadu dan dapat dipasarkan secara terpisah sesuai kebutuhan pasarnya masing-masing.

Dalam proses pengembangan, *effort* yang dibutuhkan/dikeluarkan dirinci namun bersifat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengembangan produk, dengan contoh sebagai berikut:

2.5.1 Man-Month

Pada proses pengembangan proyek ini diperlukan kualifikasi SDM dengan spesialisasi khusus agar mempercepat uji coba dan implementasi produk yang akan dihasilkan. Kualifikasi SDM yang diperlukan untuk mengerjakan proyek ini adalah sebagai berikut.

- *design engineer* yang bertugas untuk merancang dan mendesain produk agar tepat guna dan memiliki bentuk sesuai kebutuhan proyek. Pihak ini perlu memahami cara kerja dari penanaman tanaman secara umum terlebih dahulu serta mendalami desain *Smart Indoor Vertical Farming* yang telah diteliti sebelumnya agar dapat mendapatkan ide desain minimum untuk pengembangan produk ini. Pengembangan produk tersebut memerlukan minimal satu orang, masing-masing dipekerjakan *full time* selama proses pengembangan dengan rata-rata durasi selama 8 bulan.
- *test engineer* yang bertugas untuk memeriksa logika model dari pengembangan subsistem yang telah dibuat. Pihak ini perlu memahami mengenai bahasa pemrograman yang cukup, memiliki latar belakang pembelajaran sistem *embedded* yang baik, serta memahami cara *debug* sistem yang benar. Pengujian sistem memerlukan minimal 2 orang, *full time* selama 1 bulan untuk menguji setiap subsistem yang dijalankan serta menguji integrasi antar subsistem.
- *Expert* yang menjadi pihak yang dapat memberikan masukan sesuai keahlian yang dimiliki. Keahlian yang menjadi sasaran utama adalah memiliki skill dalam sistem *embedded*, memiliki pengalaman dalam mengaplikasikan sistem kendali pada suatu sistem, memiliki pengalaman dalam menggunakan alat instrumentasi serta memahami cara kalibrasi alat instrumentasi. Pihak ini dibutuhkan untuk seluruh tahapan proyek (diperkirakan 2-3 bulan).
- Teknisi yang bertugas untuk mengerjakan dan merancang subsistem yang direncanakan sebelumnya. Dibutuhkan teknisi yang memiliki pengalaman mengerjakan sistem kendali, memiliki pengalaman pada bidang sistem *embedded*, serta memiliki pengalaman dalam menggunakan dan mengkonfigurasi alat instrumentasi. Teknisi juga perlu menguasai bahasa pemrograman agar dapat mengerjakan sisi perangkat lunak. Pihak ini diperlukan masing-masing 2 orang untuk setiap subsistem.

2.5.2 Machine-Month

Jenis mesin yang diperlukan pada proyek ini adalah mesin pencetak PCB, mesin pemotong pipa dan kayu (beda mata gergaji). Mesin PCB diperlukan untuk menghasilkan rangkaian elektronika yang lebih rapi. Diperlukan penyewaan mesin pencetak PCB dengan durasi 12-14 jam (Pengintegrasian subsistem cukup banyak sehingga diperlukan durasi yang cukup lama). Mesin pemotong pipa dan kayu diperlukan untuk membuat kerangka proyek serta

tempat tanaman ditanam. Dibutuhkan penggunaan mesin pemotong pipa dan kayu dengan masing-masing waktu pengerjaan selama 8 jam dan 12 jam.

2.5.3 Development Tools

Tools yang diperlukan dalam pengembangan ini berkisar pada perangkat yang mendukung proses perancangan, implementasi, dan karakterisasi produk yang dibuat, antara lain:

- PC
- Software MATLAB untuk melakukan perancangan sistem kendali dan simulasi sistem kendali.
- Software Arduino IDE atau setara untuk melakukan perancangan perangkat lunak yang akan diimplementasikan pada projek sistem.
- Toolkits perangkat keras seperti alat pertukangan untuk membuat kerangka produk, gergaji (baik manual atau mesin), pemotong kabel, dan lain sebagainya.

2.5.4 Test Equipment

Untuk keseluruhan proses pengembangan, diperlukan peralatan-peralatan pengujian sebagai berikut:

- Multimeter digital
- *controllable chamber* untuk pengujian data modul sensor dan simulasi kondisi udara, beserta alat ukur standar untuk masing-masing besaran yang diukur sebagai patokan.
- Lux Meter untuk pengujian sensor LDR
- pH Meter dan EC Meter untuk melakukan pengujian sensor pH dan sensor EC serta bertujuan untuk mendapatkan nilai kalibrasi yang sesuai.

2.5.5 Kebutuhan Expert

Identifikasi kepakaran diperlukan agar pengembangan produk dapat dikerjakan secara efektif, efisien, dan tepat waktu. Penjabaran kepakaran yang telah dikuasai oleh mahasiswa dan dosen pembimbing adalah mengenai instrumentasi sensor, *embedded system*, sistem kendali, bahasa pemrograman C/C++, design 3D, Arduino, Raspberry Pi, *Machine Learning*, RTOS, dan Robotika. Kepakaran yang memerlukan pihak luar adalah keahlian mengenai tata letak lampu, pemahaman aliran udara suatu ruangan tertutup, serta pemahaman lebih intensif mengenai penanaman hidroponik.

Tim ini mengidentifikasi diperlukannya on-visit expert, terutama pada tahapan kritical di masing-masing modul. Expert yang dibutuhkan terutama untuk titik kaji sebagai berikut:

- pH Meter dan EC sensor
- Ahli Sistem Kendali
- Ahli HVAC
- Ahli Tata Letak Lampu pada suatu ruangan
- Ahli tanaman/hidroponik

2.5.6 Kebutuhan Biaya

Berdasarkan konsep produk yang diusulkan dan identifikasi bahan serta peralatan yang harus dibeli atau disewa, dan kemungkinan honor untuk SDM eksternal, Tim Tugas Akhir

menghitung perkiraan biaya yang diperlukan untuk mengembangkan produk ini. Berikut ini merupakan perkiraan kasar kebutuhan biaya produk *Smart Indoor Vertical Farming*.

Tabel 1 – Kebutuhan biaya pengembangan produk

No	Keterangan	Biaya	
Kebutuhan Komponen			
1	Mikrokontroler (5 buah)	Rp	200.000,00
2	Sensor subsistem Nutrisi	Rp	500.000,00
3	Papan dan Pipa	Rp	400.000,00
4	Sensor subsistem CO2	Rp	70.000,00
5	Sensor subsistem Pencahayaan	Rp	20.000,00
6	Sensor subsistem Tatap Muka Pengguna	Rp	50.000,00
7	Pompa DC	Rp	400.000,00
8	Kipas DC	Rp	300.000,00
9	LED	Rp	650.000,00
10	Selonoid Valve	Rp	60.000,00
11	Ragul CO2	Rp	100.000,00
12	Bibit Bayam dan Selada	Rp	30.000,00
13	Pupuk AB Mix	Rp	28.000,00
14	Rockwool	Rp	50.000,00
15	pH up dan pH down	Rp	50.000,00
16	Sensor suhu dan kelembaban	Rp	30.000,00
17	Sensor suhu air	Rp	30.000,00
18	LCD Display	Rp	15.000,00
19	Push button	Rp	10.000,00
Total		Rp	2.993.000,00
Kebutuhan Sumber Daya Manusia dan Sewa Alat			
1	Test Engineer	Rp	2.000.000,00
2	Design Engineer	Rp	5.000.000,00
3	Expert Consultant	Rp	7.500.000,00
4	Teknisi	Rp	1.500.000,00
5	Sewa Mesin PCB	Rp	100.000,00
6	Sewa Mesin Pemotong Pipa dan papan	Rp	75.000,00
Total		Rp	16.175.000,00
Total Seluruhnya		Rp	19.168.000,00

2.5.7 Peluang Keberhasilan

Peluang keberhasilan projek *Smart Indoor Vertical Farming* ini memiliki pertimbangan dalam beberapa hal seperti kalibrasi tiap-tiap sensor, konfigurasi tata letak pencahayaan, tata letak sensor, dan integrasi antarsistem. Kalibrasi tiap sensor perlu dilakukan dengan prosedur yang benar sehingga sensor menghasilkan nilai masukan yang akurat. Ketidakakuratan nilai

sensor akan mengurangi peluang keberhasilan produk karena nilai yang tidak akurat akan mengakibatkan kesalahan pengendalian sistem.

Tata letak pencahayaan dan kuantitas LED yang digunakan memerlukan pertimbangan dan pengujian intensif agar tanaman yang ditanam mendapatkan pencahayaan yang optimum pada seluruh lokasi penanaman. Kesalahan tata letak pencahayaan akan mengakibatkan tanaman tidak berkembang dengan baik sehingga menyebabkan gagal panen.

Tata letak sensor memerlukan perencanaan yang tepat sehingga nilai yang dibutuhkan dari sensor optimal dan merepresentasikan kondisi sistem yang berjalan. Sensor pH dan sensor EC perlu diletakkan sebaik mungkin agar nilai pH dan EC yang diukur mewakili kondisi *reservoir*. Sensor LDR juga perlu diletakkan pada posisi yang merepresentasikan pencahayaan LED secara tepat. Sensor CO₂, suhu, dan kelembaban juga perlu diletakkan secara benar sehingga tidak terjadi kekurangan volume CO₂ ataupun kesalahan pengukuran suhu dan kelembaban.

Integrasi antar sistem juga menjadi faktor utama peluang keberhasilan. Peneliti perlu memastikan terlebih dahulu setiap subsistem dapat berjalan dengan benar. Dari sana, peneliti perlu menghubungkan setiap subsistem dengan master mikrokontroler. Apabila integrasi sistem gagal, maka dikhawatirkan pengendalian perlu dilakukan masing-masing sistem yang mengakibatkan produk tidak *user-friendly*.

Sistem *Smart Indoor Vertical Farming* tidak memiliki komponen yang sulit ditemukan sehingga seharusnya dalam pembelian komponen tidak akan menemukan kesulitan yang berarti.

Durasi waktu untuk melakukan kalibrasi sensor serta *interfacing* dengan mikrokontroler memerlukan waktu yang cukup panjang karena sebagian besar sensor yang digunakan memiliki kerumitan kalibrasi yang berbeda. Untuk meminimalisasi risiko gagal kalibrasi, peneliti perlu memahami cara kerja dan prosedur kalibrasi masing-masing sensor berdasarkan informasi penelitian, *tutorial*, dan *datasheet* masing-masing sensor.

Pekerjaan dengan tim memerlukan komunikasi yang efektif sehingga anggota tim mengetahui dan memahami tujuan dan tugas masing-masing. Apabila tim tidak memiliki komunikasi yang baik, dikhawatirkan menimbulkan berbagai kesalahpahaman sehingga menahan proyek mengalami kemajuan. Solusi yang dapat diambil dalam menghadapi masalah ini adalah kepala tim perlu tetap memantau perkembangan pekerjaan masing-masing anggota sehingga tujuan akhir produk tetap terlacak dan sesuai tenggat waktu yang ditentukan.

2.5.8 Jadwal dan Waktu Pengembangan

Proyek *Smart Indoor Vertical Farming* ini dirancang untuk rentang satu tahun lima bulan, dimulai pada Maret 2021– Agustus 2022. Time table proyek ini dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2 - Linimasa pengembangan produk

Fase	Deliverables	Jadwal (yang dicantumkan adalah akhir tahap)	Kebutuhan Sumber daya
------	--------------	--	-----------------------

Konsep Produk	B100 Proposal	Maret 2021	Literatur
Analisis	B200 Spesifikasi Fungsional	April 2021	- Spesifikasi standar - Engineer
Desain	B300 Skematik dan Rancangan Sistem Keseluruhan	Mei 2021	- <i>Dev Tools</i> - Penguasaan Teknologi Pendukung - Literatur - Engineer
Implementasi	B400 Implementasi Prototype Lab	November 2021	- Dev Tools - Outsource PCB - Engineer
Uji Subsystem	- Error report - Field prototype	Januari 2022	- Chamber - Test Equipment - Field Trial Facility - Test Engineer
Integrasi Sistem	Lab prototype	Februari 2022	- Dev Tools - Engineer
Uji Sistem	- Field Prototype - Data hasil uji	Juni 2022	- Chamber - Test Equipment - Field Trial Facility - Database - Test Engineer
Analisis, Kesimpulan dan Dokumentasi	B500	Agustus 2022	- ATK

Kesimpulan

Produk *Smart Indoor Vertical Farming* ini dirancang untuk mengatasi solusi keterbatasan lahan. *Smart Indoor Vertical Farming* merupakan metode penanaman tanaman yang dilakukan pada dalam ruangan yang tertutup dengan dilakukan berbagai pengendalian sistem agar tanaman dapat tumbuh dan dapat dipanen. Produk tersebut akan membuat pengalaman menanam dan memanen tanaman menjadi lebih mudah karena berbagai pengendali secara otomatis baik dari sisi lingkungan, nutrisi, maupun pencahayaan. Konsep penanaman tanaman secara vertikal digunakan untuk memaksimalkan lahan terbatas sehingga dapat menghasilkan produktivitas panen pada luas lahan yang sama.

Dari sisi strategis, diharapkan produk ini dapat menjadi solusi dari *SDGs* terkait mengakhiri kelaparan, mencapai ketahanan pangan, dan nutrisi yang lebih baik dan mendukung pertanian berkelanjutan. Produk ini memiliki keunggulan dalam bidang skalabilitas dan modularitas produk. Produk dapat digunakan mulai dari lahan sempit seperti pada perumahan atau apartemen hingga digunakan pada ruangan yang luas. Produk ini juga dikembangkan dengan berbagai solusi alternatif yang dapat diaplikasikan tanpa menurunkan kualitas produk.

