

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tabel 2.1 merupakan penelitian yang relevan dengan topik pengerjaan tugas akhir ini telah dilakukan oleh peneliti.

Tabel 2.1 Topik Penelitian Relevan

Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Pengumpulan Data	Tujuan Penelitian	Hasil
Yuda Prasetia, Aji Gautama Putrada, Andrian Rakhmatsyah (2021) [16]	<i>Evaluation of IoT-Based Grow Light Automation on Hydroponic Plant Growth</i>	Observasi penelitian secara langsung dengan melakukan rancang bangun sistem IoT yang diimplementasikan ke tanaman hidroponik bok choy.	Merancang, membangun dan mengevaluasi pemanfaatan otomasi pencahayaan buatan LED dengan sistem IoT pada tumbuhan hidroponik bok choy di hari ke-30 dan dibandingkan dengan di bawah matahari langsung.	tanaman hidroponik di bawah otomasi pencahayaan buatan LED dengan sistem IoT tumbuh lebih unggul dibandingkan tanaman hidroponik di bawah sinar matahari dalam bobot segar, jumlah daun, dan tinggi tanaman menggunakan statistika <i>box plot</i> .

Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Pengumpulan Data	Tujuan Penelitian	Hasil
Chatchawan Chaichanaa, Parinya Chantrasrib, Suwit Wongsilab, Suwimon Wicharucka, dan Thongchai Fongsamootra (2019) [17]	<i>Heat Load Due to LED Lighting of Indoor Strawberry Plantation</i>	observasi penelitian secara langsung dan perhitungan menggunakan teori keseimbangan energi dan keseimbangan massa	mengetahui kenaikan beban panas akibat pencahayaan LED pada 180 tanaman stroberi dalam ruangan terkondisi dibandingkan beban panas pada saat pencahayaan LED dimatikan	Beban panas akibat pencahayaan menyebabkan peningkatan evapotranspirasi pada tanaman stroberi hingga 5 kali dibandingkan tanpa adanya beban pencahayaan LED
Safinatul Aulia, Ansar, dan Guyup Mahardhian Dwi Putra (2019) [18]	Pengaruh Intensitas Cahaya Lampu dan Lama Penyinaran Terhadap Pertumbuhan Tanaman Kangkung (<i>Ipomea Reptans Poir</i>) Pada Sistem Hidroponik <i>Indoor</i>	observasi tanaman hidroponik dari segi tinggi tanaman, jumlah daun, massa total, massa akar, dan panjang akar	mengetahui pengaruh variasi intensitas cahaya lampu dan lama penyinaran terhadap pertumbuhan tanaman kangkung hidroponik	pertumbuhan terbaik didapatkan di bawah penyinaran lampu warna putih buatan 42 watt dibandingkan di bawah penyinaran 52 watt, 32 watt, 24 watt, dan 20 watt untuk lampu putih, dan 24 watt, 20 watt, 12 watt, 8 watt dan 5 Watt untuk lampu kuning selama 3 minggu berdasarkan indikator tinggi tanaman, jumlah daun, massa total, massa akar dan panjang akar tanaman. Tumbuhan mengalami <i>fotoinhibisi</i> di bawah penyinaran 52 watt.

Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Pengumpulan Data	Tujuan Penelitian	Hasil
Antonius Novinanto dan Andree Wijaya Setiawan (2019) [19]	Pengaruh Variasi Sumber Cahaya LED Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada (<i>Lactuca Sativa</i> Var. <i>Crispa L</i>) dengan Sistem Budidaya Hidroponik Rakit Apung	observasi pada pertumbuhan tanaman selada di bawah variasi lampu LED	mengetahui daya lampu LED yang optimal dan pengaruh penggunaan lampu LED cahaya putih dan <i>Grow Light</i> terhadap pertumbuhan tanaman selada dengan sistem budidaya hidroponik rakit apung setelah penyinaran selama 5 bulan.	Perlakuan 300 watt <i>Grow Light</i> memberikan hasil terbaik dari segi indikator diameter tajuk (45,10 cm), jumlah daun (18,25 helai), massa brangkasan basah tajuk (225,967 g), kelas massa brangkasan kering tajuk (9,90 g), dan massa brangkasan kering tajuk (4,75 g), dan luas daun (6195,378 mm).
Eaknarin Ruangrak & Weeraya Khummueng (2018) [10]	<i>Effects of Artificial Light Sources on Accumulation of Phytochemical Contents in Hydroponic Lettuce</i>	review berbagai artikel dan buku	Mengetahui efek penggunaan cahaya buatan IL (<i>incandescent lamps</i>), HPSL (<i>high-pressure sodium lamps</i>), MHL (<i>metal halide lamps</i>), FL (<i>fluorescent lamps</i>) dan LED (<i>Light Emitted Diode</i>) pada kandungan fitokimia dalam tanaman hidroponik selada	sumber pencahayaan yang berbeda memberikan berbagai kualitas cahaya yang mempengaruhi fotosintesis, morfologi, pertumbuhan tanaman, dan fitokimia. pertumbuhan di bawah lampu LED yang berbeda lebih baik daripada di bawah lampu LED tertentu saja, dan kondisi pencahayaan harus dikontrol untuk meningkatkan akumulasi fitokimia.

Nama Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metode Pengumpulan Data	Tujuan Penelitian	Hasil
Daru Nurdianna, Retno Bandriyati Arni Putri, dan Dwi Harjoko (2018) [20]	Penggunaan Beberapa Komposisi Spektrum LED pada Potensi dan Hasil Hidroponik <i>Indoor</i> Selada Keriting Hijau	observasi dan perbandingan respons pertumbuhan selada keriting hijau hidroponik di bawah variasi spektrum pencahayaan LED	mengetahui perbedaan respons pertumbuhan selada keriting hijau terhadap diferensiasi perawatan di bawah pencahayaan LED dengan spektrum yang berbeda dalam ruangan secara hidroponik selama 2 bulan	hasil didapat bervariasi, namun pertumbuhan di bawah sinar matahari masih jauh lebih baik dari segi tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, warna daun, basah total massa basah daun, massa basah akar, dan massa kering tanaman. Untuk pertumbuhan selada di bawah LED 80% biru: 20% merah, didapatkan pertumbuhan yang lebih baik berdasarkan tinggi tanaman, kandungan klorofil, dan panjang akar dibandingkan di bawah penyinaran LED lainnya, namun pertumbuhan di bawah 100% LED putih <i>daylight</i> lebih baik secara rata-rata keseluruhan.

Dari keenam penelitian ini, terdapat temuan menarik terkait pengaruh pencahayaan buatan LED terhadap tumbuhan baik dari segi eksternal maupun internal. Didapatkan bahwa pencahayaan LED dapat mempengaruhi struktur morfologi luar tumbuhan seperti akar, batang, dan daun [16]-[20], serta berdampak juga pada struktur morfologi dalam tumbuhan seperti kandungan vitamin dan mineral [10], [17].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan perbandingan pertumbuhan di bawah matahari langsung [16], [20] dan perbandingan dengan variasi kondisi pencahayaan buatan LED yang berbeda [18]-[19]. Dilakukan pula perbandingan pertumbuhan tanaman pada kondisi diberikan pencahayaan buatan dan tanpa pencahayaan buatan LED [17], serta dilakukan tinjauan pertumbuhan tanaman terhadap berbagai artikel dan buku yang relevan [10].

Terdapat penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dengan mengondisikan ruangan dan menggunakan sistem IoT untuk otomasi pencahayaan buatan LED [16], namun ada juga penelitian yang tidak melibatkan sistem IoT [17]-[20].

Tanaman-tanaman yang diteliti pada penelitian sebelumnya juga bervariasi, yaitu bok choy [16], kangkung [18], dan selada [19]-[20]. Ketiga jenis tanaman tersebut juga ditanam menggunakan sistem hidroponik bervariasi. Pada penelitian sebelumnya juga telah menguji perkembangan tanaman stroberi secara *indoor* di rumah kaca tanpa menggunakan sistem hidroponik [17]. Di sisi lain, ada pula penelitian tanpa melebatkan eksperimental langsung melainkan menyesuaikan teori dari artikel dan buku yang telah ditinjau [10].

Terdapat bermacam-macam cara metode penelitian yang digunakan dari penelitian-penelitian sebelumnya, di mana terdapat penelitian yang menggunakan metode observasi dan perbandingan terhadap pertumbuhan tanaman [16], [18]-[20], penelitian menggunakan perhitungan berdasarkan teori kesetimbangan energi dan massa [17], serta penelitian dengan meninjau dan menganalisis sejumlah artikel dan buku relevan.

Setiap penelitian yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing di mana kelebihannya adalah penelitian sebelumnya menjelaskan secara rinci mengenai rancangan, pembuatan, dan evaluasi desain yang digunakan, serta perbandingan pertumbuhan tanaman di bawah matahari [16], menyediakan sumber yang relevan dan teori-teorinya secara detail [10], pengumpulan data dan penggunaan persamaan yang jelas [17], serta pemaparan yang jelas mengenai perbandingan pertumbuhan tanaman pada variasi perlakuan cahaya buatan [18]-[20]. Kekurangan dari setiap penelitian adalah penelitian sebelumnya kurang menghadirkan variasi penyinaran LED dengan spektrum yang berbeda untuk menemukan inovasi baru [16], kurang detailnya perhitungan yang dilakukan [17], adanya penggunaan artikel yang telah tidak valid atau telah lebih dari 5 tahun sejak publikasinya [10], serta penelitian tanaman di ruang tidak terkondisi sehingga hasil tanaman tidaklah optimal [18]-[20].

Pada Tugas Akhir ini, Rancang bangun variasi penggunaan cahaya LED dari segi intensitas cahaya dan segi spektrum warna dilakukan kepada tanaman bayam dengan bantuan sistem IoT sebagai pemantau faktor lingkungan, seperti suhu dan kelembaban, serta menggunakan sensor-sensor pemantau untuk cahaya, pH, dan kadar mineral. Metodologi yang akan dilakukan adalah observasi secara langsung pertumbuhan tanaman dan pengolahan data hasil observasi serta membandingkan data hasil observasi dengan standar kelayakan tanaman dengan aturan mutu, segar, dan aman dikonsumsi yang ada di Amerika dan tumbuh tanam bayam di bawah matahari langsung. Terakhir, memberikan rekomendasi atas penelitian yang telah didapatkan sebagai bentuk pertimbangan terhadap pelaku bidang hidroponik.

2.2 Dasar Teori

2.1.1 Tanaman Bayam Hijau

Bayam merupakan salah satu tanaman pangan tertua di dunia yang berasal dari Amerika, yang telah dibudidayakan sejak 6700 tahun SM dan telah menyebar di daerah tropis maupun subtropis. Bayam juga menjadi salah satu jenis sayuran yang digemari di Indonesia dikarenakan rasanya enak, lunak, dan

mudah dicerna. Terlebih bayam mengandung sejumlah vitamin dan mineral yang baik untuk tubuh manusia. Di Indonesia sendiri, produktivitas bayam masih tergolong rendah sehingga tinggi tuntutan pangan tanaman bayam tidak sesuai dengan tinggi produktivitas bayam [21]. Gambar 2.1 menunjukkan tampilan bayam pada umumnya.



Gambar 2.1 Tampilan Bayam Hijau [22]

A. Klasifikasi

Klasifikasi Bayam Hijau (*Spinacia oleracea* L.) [23]

- A.1. Kingdom : *Plantae*
- A.2. Divisi : *Magnoliophyta*
- A.3. Kelas : *Magnoliopsida*
- A.4. Ordo : *Caryophyllales*
- A.5. Famili : *Amaranthaceae*
- A.6. Genus : *Spinacia*
- A.7. Spesies : *Spinacia oleracea* L.

B. Morfologi Tanaman Bayam Hijau

B.1. Akar

Bayam memiliki akar perdu di mana ia memiliki akar tunggang di bagian bawah, dan akar serabut di bagian atas. Umumnya Akar bayam berukuran 20 – 40 cm di kedalaman tanah [24]. Warna akarnya adalah kuning abu-abu ketika segar.

B.2. Batang

Tumbuh tegak, tebal, berdaging, dan mengandung banyak mineral dan air. Batang berwarna hijau dan bercabang banyak.

B.3. Daun

Termasuk daun tunggal, oval, memanjang, bersebaran, berselang-seling, menyempit ke bagian ujung dengan urat-urat daun terlihat jelas, tepi daun rata, dengan panjang daun berkisar 1.5-6.0 cm, dan lebar daun berkisar 0.5-3.2 cm. Bentuk tulang daun bayam adalah menyirip [24].

B.4. Bunga

Bunga berukuran kecil, berjenis kelamin tunggal, dan berjumlah banyak terdiri dari daun bunga 4-5 buah [25]. Bunga keluar dari ujung-ujung tanaman atau ketiak daun bertumbuh tegak seperti karangan bunga berwarna hijau keputihan. Kelopak bunganya berbentuk corong. Daun tenda bunga setinggi-tingginya 2.5 mm [26]. Bunga ini melakukan perkawinan bersifat uni seksual, yaitu dapat melakukan penyerbukan sendiri maupun secara silang dengan bantuan angin maupun serangga.

B.5. Buah

Buah dari bayam berukuran sangat kecil sekitar 1.5 mm berwarna hijau dan berbentuk lonjong [26].

B.6. Biji

Biji berukuran kecil dan halus berukuran sekitar 0.8 – 1 mm, berwarna hitam mengkilap, berbentuk bulat [26].

2.1.2 Sistem Hidroponik

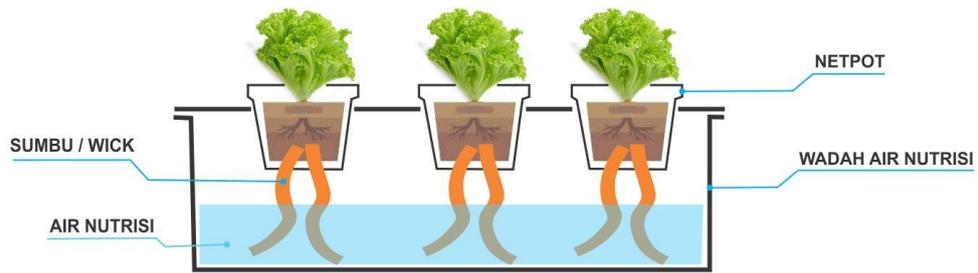
Secara ilmiah, hidroponik didefinisikan sebagai suatu cara budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, akan tetapi menggunakan media *inert* seperti *gravel*, *pasir*, *peat*, unsur hara lainnya yang mengandung seluruh elemen esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan normal tanaman. Istilah hidroponik sendiri berasal dari bahasa Latin yaitu *hydro* (air) dan *ponos* (kerja) dan pertama kali dikemukakan oleh W.F. Gericke, seorang Agronomis dari *University of California* pada tahun 1936 [27]. Beberapa kelebihan menggunakan sistem hidroponik sebagai media tanaman adalah kualitas yang dihasilkan dinilai lebih baik daripada di lahan terbuka, terhindar dari hama, lebih hemat dalam penggunaan pupuk/nutrisi, menghemat lahan, tumbuh cepat, hemat tenaga dan waktu, dan kualitas lebih terjamin dalam segi kebersihan, kesegaran, dan pertumbuhan. Sedangkan kelemahan sistem hidroponik adalah modalnya besar, tanaman sangat mudah terinfeksi apabila terserang patogen, pengaplikasian sistem hidroponik kultur substrat terkadang cepat mengering apabila kapasitas substrat dalam menahan air kecil, dan pengaplikasian kultur air berpotensi tanaman cepat layu akibat keterbatasan air dan jumlah nutrisi [28]

2.1.3 Jenis-jenis Hidroponik

Jenis-jenis hidroponik sendiri ada 6 macam [29], yaitu

A. Sistem *Wick*

Sistem di mana tanaman diletakkan di dalam wadah yang kemudian disambungkan dengan sumbu sehingga nutrisi di bawah wadah dapat terserap ke tanaman. Kelemahan teknik ini adalah tidak bekerja dengan baik untuk tanaman yang membutuhkan banyak air. Pada proposal tugas akhir ini, peneliti akan menggunakan sistem ini diakibatkan sistem ini merupakan sistem yang paling sederhana dan populer di kalangan pemula. Aplikasi sederhana sistem *wick* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sistem Wick [30]

B. Sistem *Ebb & Flow*

Sistem yang memanfaatkan teknik pasang surut air. Suatu media tumbuh ditempatkan di dalam wadah yang berisi nutrisi. Kemudian nutrisi dikembalikan ke dalam penampung, dan dialiri kembali ke wadah, begitu seterusnya. Sistem ini memerlukan bantuan pompa yang terkoneksi dengan *timer*.

C. Sistem NFT (*Nutrient Film Technique*)

Sistem di mana tanaman ditempatkan pada wadah bergantung dan akar dibiarkan menggantung di larutan nutrisi, dan akarnya dibiarkan menggantung dalam larutan nutrisi yang terus menerus mengalir dengan bantuan pompa.

D. Sistem *Aeroponic*

Sistem di mana larutan nutrisi disemprotkan ke akar tanaman secara terus menerus.

E. Sistem *Water Culture*

Sistem di mana tanaman dibiarkan mengapung di atas air dan akar tanaman direndam dalam air dan gelembung udara diberi menggunakan bantuan pompa akuarium dan *diffuser* udara.

F. Sistem *Drip*

Sistem di mana larutan ditetaskan nutrisi dan dialirkan ke tanaman secara periodik dengan bantuan *timer* dan pompa.

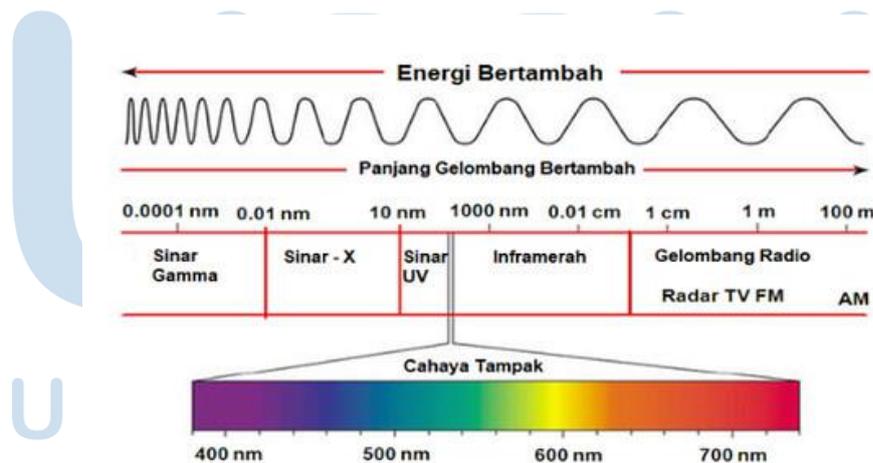
2.1.4 Cahaya

Cahaya adalah gelombang elektromagnetik yang tampak di mata. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang hasil perpaduan medan listrik dan medan magnet. cahaya tampak sendiri memiliki 2 perilaku yang bertentangan, yaitu perilaku partikel dan elektromagnetik. Cahaya memiliki sifat partikel dikarenakan energinya tidak tersebar seperti sifat gelombang elektromagnetik namun dihantarkan dalam bentuk buntalan kecil layaknya partikel. Bundelan distrik energi elektromagnet ini dikenal dengan sebutan foton [31].

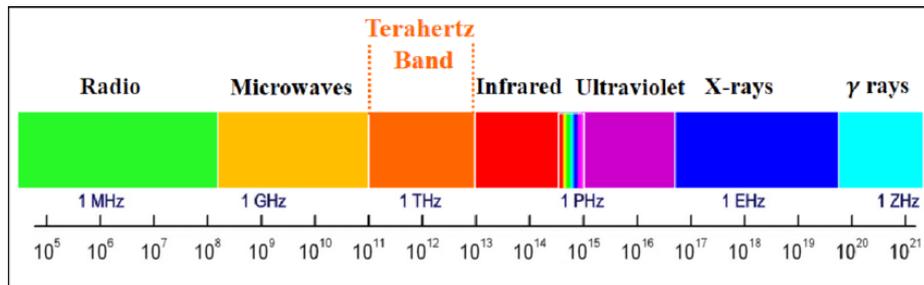
A. Spektrum Cahaya

Cahaya tampak memiliki komponen warna berupa cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Panjang gelombang cahaya tampak berkisar antara 380 nm – 700 nm, dengan frekuensi berkisar 4×10^{14} - 7.9×10^{14} Hz.

Gambar 2.3 merupakan panjang gelombang spektrum cahaya dan Gambar 2.4 merupakan frekuensi cahaya.



Gambar 2.3 Panjang Gelombang Spektrum Cahaya Tampak [32]



Gambar 2.4 Frekuensi Cahaya [33]

B. Intensitas dan Satuan untuk Cahaya

Satuan merupakan petunjuk kuantitas suatu besaran. Satuan selalu berkaitan dengan pengukuran fisika. Beberapa satuan yang digunakan dalam besaran cahaya adalah *candela* (Cd), lumens dan lux. Lux merupakan satuan cahaya yang sering digunakan dalam pengukuran intensitas cahaya. [32]. Intensitas cahaya adalah kuat cahaya yang dikeluarkan oleh sebuah sumber cahaya ke arah tertentu [34].

Lux adalah banyak arus yang datang mengenai satu unit bidang. Satu lux sama dengan iluminasi pada bidang bola berjari-jari 1 m yang memiliki titik pusat sumber cahaya sebesar 1 Cd. Satuan lain yang biasa dipakai pada alat-alat optik adalah fc (*footcandle*). Satu lm/ft^2 sama dengan 10.79 lux [35].

C. Sumber Cahaya

Sumber cahaya adalah segala sesuatu yang menghasilkan cahaya. Benda yang tidak memancarkan cahaya sendiri disebut benda gelap, seperti meja, kasur, kursi, dan lain sebagainya.

Sumber cahaya dibagi menjadi 2, yaitu sumber cahaya alami dan sumber cahaya buatan. Sumber cahaya alami merupakan sumber penghasil cahaya yang tidak dibuat oleh manusia, contohnya matahari. Sedangkan, sumber cahaya buatan merupakan penghasil cahaya yang dibuat oleh manusia, contohnya LED.

D. Cahaya Matahari

Cahaya matahari merupakan gabungan cahaya dengan spektrum dan Panjang gelombang berbeda-beda. Ekosistem *terrestrial* dapat bertahan akibat adanya pancaran radiasi matahari, yaitu *Photosynthetically Active Radiation (PAR)* yang digunakan tanaman untuk berfotosintesis. Cahaya matahari menjadi salah satu faktor penentu fotosintesis tanaman, sehingga ada hubungan antara produksi biomassa dan jumlah penyerapan cahaya oleh tumbuhan, terbukti dari hasil budidaya tanaman di pertanian maupun perkebunan [36].

Eksistensi dari ekosistem *terrestrial* dapat dipertahankan keberlangsungannya karena adanya radiasi matahari, atau lebih tepatnya karena adanya *Photosynthetically Active Radiation (PAR)*, yaitu panjang gelombang radiasi yang dipergunakan di dalam proses fotosintesis (panjang gelombang antara 380 dan 720 nm). Cahaya matahari merupakan faktor utama penentu fotosintesis global. Fotosintesis adalah proses yang dilakukan tumbuhan untuk menghasilkan makanan. Sehingga terdapat hubungan kuantitatif yang erat antara penyerapan cahaya matahari dan produksi biomassa dunia. Hubungan yang erat ini biasanya terlihat dengan lebih jelas pada komunitas tanaman yang dibudidayakan, seperti tanaman pertanian, perkebunan, dan tanaman hortikultura [36]. Hasil fotosintesis akan menjadi penentu ketersediaan energi untuk pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Efisiensi penyerapan cahaya oleh daun dapat menghasilkan perubahan morfologi dan fisiologi yang berbeda.

E. Light Emitting Diode

Light Emitting Diode (LED) adalah dioda semikonduktor yang memancarkan cahaya saat dialiri oleh listrik. Lampu LED memanfaatkan pergerakan elektron pada material untuk memancarkan cahayanya. Lampu LED mampu memancarkan gelombang cahaya tampak dan memancarkannya dalam jumlah besar. LED sendiri telah memiliki kemampuan memancarkan beraneka ragam warna merah, kuning, biru,

putih, hijau, jingga dan inframerah. Kemampuan memancarkan variasi warna ini bergantung pada bahan semikonduktor yang digunakan dan Panjang gelombangnya. Untuk mengetahui senyawa semikonduktor yang digunakan dalam menghasilkan variasi warna dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Pengaruh panjang gelombang dan bahan semikonduktor LED terhadap variasi warna

Bahan Semikonduktor	Panjang Gelombang (nm)	Hasil Warna
<i>Gallium Arsenide (GaAs)</i>	850-940	Inframerah
<i>Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP)</i>	630-660	Merah
<i>Gallium Arsenide Phosphide (GaAsP)</i>	605-620	Jingga
<i>Gallium Arsenide Phosphide Nitride (GaAsP:N)</i>	585-59	Kuning
<i>Aluminum Gallium Phosphide (AlGaP)</i>	550-570	Hijau
<i>Silicon Carbide (SiC)</i>	430-505	Biru
<i>Gallium Indium Nitride (GaInN)</i>	450	Putih

Sumber: Kho [37]

Sekarang, LED sendiri telah menjadi salah satu pilihan banyak orang sebagai penghasil cahaya buatan, begitu pula digunakan sebagai pengganti cahaya matahari untuk tanaman hidroponik *indoor*. Lampu LED untuk pertumbuhan tanaman pertama kali digunakan oleh perusahaan Solar Oasis pada tahun 2002 [38].

Lampu LED sendiri memiliki beberapa keuntungan dibandingkan menggunakan lampu jenis lainnya sebagai pengganti cahaya untuk tanaman. Selain lampu LED yang dapat menghasilkan variasi warna, lampu LED dikenal sebagai jenis lampu dengan waktu hidup yang sangat lama (60,000 jam) [39] dibandingkan lampu neon (6,000 jam), lampu pijar, lampu Fluoresen, lampu *High Pressure Sodium* (HPS) (24,000 jam), dan *Metal Halide* (MH) (18,000 jam) yang juga sering menjadi pilihan cahaya buatan untuk tanaman. Begitu pula panas lampu, contohnya lampu pijar, panas lampu pijar sangat mempengaruhi tanaman dan membuat tanaman mengalami evapotranspirasi berlebihan dan menyebabkan tanaman layu. Panas berlebihan juga boros energi dan tidak efisien. Begitu pula berlaku pada cahaya buatan HPS dan MH. Namun, LED termasuk lampu hemat energi dan panas yang dihasilkan tidaklah merusak tanaman [38]. HPS juga menggunakan gas sodium sebagai penghasil cahaya dan MH menggunakan gas sodium. Sedangkan LED termasuk aman dikarenakan menggunakan semikonduktor. Distribusi cahaya oleh LED juga lebih sempit dan cocok untuk penelitian dibandingkan HPS dan ML yang menyebar [34]. Alasan-alasan inilah yang menyebabkan penelitian Tugas Akhir ini menggunakan lampu LED. Gambar 2.5 menunjukkan tampilan variasi LED berwarna yang digunakan pada proyek akhir.





Gambar 2.5 Variasi LED berwarna [40]

2.1.5 Faktor Lingkungan bagi Tumbuh Tanaman Selain Cahaya

A. Suhu

Suhu menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi proses fisiologis dalam tumbuhan, seperti bukaan stomata dan laju penyerapan nutrisi dan air. Peningkatan suhu sampai titik optimum akan diikuti oleh peningkatan proses fisiologis, namun apabila telah melewati suhu optimum tumbuhan, proses mulai terhambat baik secara fisiologis maupun kimia dengan terjadinya degradasi enzim. Suhu tinggi dapat merusak enzim sehingga metabolisme tidak berjalan baik sehingga menyebabkan menurunnya pertumbuhan. Begitu pula suhu rendah dapat menyebabkan enzim tidak aktif dan metabolisme terhenti. Oleh karena itu, tumbuhan memiliki suhu optimum 10-38°C tergantung dengan jenis tumbuhannya [41]. Pada bayam sendiri, variasi suhu dapat mempengaruhi luas daun dan tingginya. Bayam memiliki suhu terbaik di sekitar suhu ruangan sampai 28°C [42].

B. Kelembaban

Kelembaban udara mempengaruhi laju transpirasi zat pada tumbuhan. Bila lingkungan tempat tinggal tumbuhan memiliki kelembaban yang rendah atau kering, tumbuhan tersebut akan kekurangan air untuk

melangsungkan proses fotosintesis, sedangkan bila kelembaban terlalu tinggi, jamur dan bakteri dapat tumbuh berkembang dan menyebabkan kerusakan dan pembusukan pada tumbuhan. Idealnya, tinggi kelembaban yang optimum untuk tumbuhan adalah 70-90% menyesuaikan tumbuhan yang ditanam [43].

C. pH

PH merupakan kependekan dari *potential of hydrogen*, pH tanah sendiri merupakan standar pengukuran tingkat keasaman atau kebasahan pada suatu lahan media tanam. Dengan mengetahui kadar pH dalam tanah, seseorang dapat menentukan tanaman apa yang cocok untuk dibudidayakan karena setiap tanaman memiliki karakteristik kebutuhan kadar pH yang berbeda-beda. pH netral berkisar 6.5 - 7.8 di mana kandungan senyawa organik, mikroorganisme, unsur hara dan mineral dalam kondisi yang optimal. pH asam merupakan berkisar di bawah 6.5, dan umumnya tanah dengan pH asam diakibatkan kandungan hidrogen, aluminium, dan belerang yang tinggi. Sedangkan pH basa berkisar di atas 7.8 dan umumnya tanah dengan pH basa diakibatkan kandungan zat kapurnya yang tinggi [44].

Tanaman Bayam sendiri memerlukan kadar pH optimal di mana idealnya tanaman hidroponik rata-rata membutuhkan pH berkisar 5.5-6.5. Apabila pH terlalu tinggi, kandungan dalam tanah akan diikat oleh tumbuhan secara kimiawi dan tidak dapat diserap oleh tumbuhan dan menyebabkan kandungan tersebut menjadi racun, begitu pula pada pH basa [44]. Di pH basa, tanaman bayam dapat timbul bercak-bercak warna putih kekuningan di daun [45].

D. Nutrisi

Tumbuhan memerlukan setidaknya enam belas elemen penting yaitu karbon, hidrogen, oksigen, fosfor, potasium, nitrogen, sulfur, kalsium dan magnesium jumlah banyak, sedangkan zat besi, klor, tembaga, mangan, seng, boron, dan molibdenum dalam jumlah sedikit. Elemen-elemen yang

telah terserap akan menjadi bagian dari struktur tumbuhan dan berfungsi dalam metabolisme tumbuhan. Jumlah zat-zat tersebut juga dapat menjadi zat pemacu dan penghambat enzim serta mempengaruhi tekanan osmosis sel.

Besar partikel elemen-elemen juga menjadi pengaruh terhadap tumbuhan, seperti pada warna dan jumlah karotenoid pada tumbuhan [46]. Untuk bayam sendiri, PPM rentang amannya adalah berkisar 1260 – 1610 ppm [47], namun pada proyek ini akan dibuat PPM sekitar 800 – 1500 ppm menyesuaikan usia tanaman bayam hijau [48].

2.1.6 Sistem Kontrol

A. Mikrokendali Arduino

Arduino adalah suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328. Arduino memiliki *Software* yang dinamakan Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang digunakan untuk menulis program, contoh program dan library untuk pengembangan program apabila *driver* Arduino atau sejenisnya disambungkan ke komputer. Arduino IDE terdiri dari [49]:

A.1 *Editor program*, window yang membebaskan pengguna untuk menulis dan mengedit program dalam bahasa program/*processing*.

A.2 *Compiler*, modul yang mengubah kode bahasa program menjadi kode digital yang dipahami oleh mikrokomputer.

A.3 *Uploader*, modul yang memuat kode biner (digital) dari komputer ke dalam memori papan Arduino atau sejenisnya. Sebuah perintah pengendalian dapat dijalankan melalui program yang dimasukkan ke dalam Arduino.

Gambar 2.6 merupakan tampilan awal aplikasi Arudino IDE.



Gambar 2.6 tampilan Arduino IDE

B. NodeMCU ESP32

NodeMCU merupakan papan pengembangan produk *Internet of Things* (IoT) berbasis *Firmware eLua* dan *System on a Chip* (SoC), dan merupakan penerus SoC *ESP8266-12E* dengan menggunakan Mikroprosesor Xtensa LX6 32-bit Tensilica yang terintegrasi dengan Wi-Fi dan Bluetooth [50]. Bentuk ESP32 sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.7.



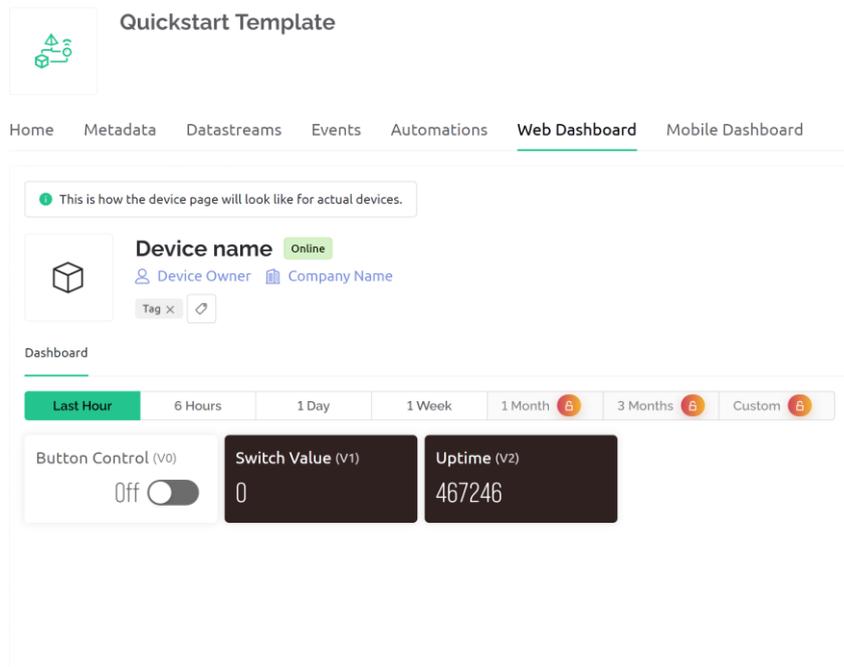
Gambar 2.7 Microkontroler ESP32 [51]

NodeMCU ESP32 memiliki berbagai fitur layaknya mikrokontroler dan kapabilitasnya dalam mengakses WiFi, melakukan konektivitas Bluetooth, ADC, DAC, dan konektivitas serial. Dalam menggunakan NodeMCU ESP32, hanya diperlukan ekstensi kabel data USB yang disambungkan ke komputer [50].

C. Aplikasi Blynk IoT

Software aplikasi Blynk IoT merupakan aplikasi gratis yang menggunakan iOS dan OS Android untuk mengontrol mikrokontroler melalui Internet yang merupakan lanjutan dari Aplikasi Blynk. Aplikasi ini dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat *hardware*, menampilkan data sensor, menyimpan data, visualisasi, dan lain-lain. Aplikasi Blynk IoT sendiri memiliki 3 komponen utama, yaitu aplikasi, server, dan *libraries*. Server sendiri berfungsi dalam menangani seluruh komunikasi antara *smartphone* dan *hardware*. Blynk tidak terikat dengan jenis-jenis mikrokontroler namun harus didukung *hardware* yang dipilih dengan widget yang ada di aplikasi Blynk IoT. Aplikasi Blynk IoT sangat cocok digunakan dalam mengontrol mikrokontroler secara Internet dan cocok dengan NodeMCU ESP32 [52]. Tampilan Aplikasi Blynk IoT menggunakan *website Blynk Cloud* pada PC dapat dilihat pada Gambar 2.8.





Gambar 2.8 Tampilan Aplikasi Blynk IoT

D. Relay

Relay adalah komponen elektro-mekanikal yang dapat digunakan sebagai *switch* atau saklar untuk perangkat lain. Relay dikontrol dengan tegangan dari pin Arduino sehingga dapat melakukan *switch* [52]. Gambar 2.9 merupakan tampilan dari relay.

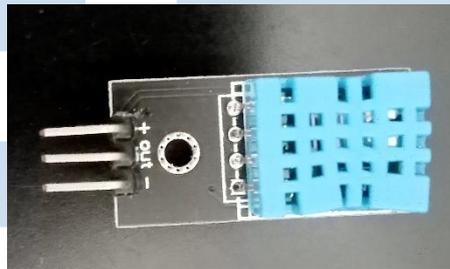


Gambar 2.9 Relay

2.1.7 Sensor

A. Sensor DHT11

Sensor suhu DHT11 adalah sensor digital yang dapat mengukur suhu dan kelembaban udara di sekitarnya. Sensor ini sangat mudah digunakan pada mikro kendali arduino maupun ESP8266. Tampilan dari DHT11 sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 DHT11

Sensor DHT11 memiliki tingkat stabilitas yang baik dan kalibrasi yang akurat. Sensor suhu DHT11 ini termasuk sensor berkualitas, hal ini dinilai dari respons, kecepatannya dalam membaca data, dan kemampuan *anti-interference*. Ukurannya juga kecil namun dapat transmisi sinyal hingga 20 meter. Spesifikasi dari DHT11 yang digunakan tercantum pada Tabel 2.3 Spesifikasi DHT11 [50].

Tabel 2.3 Spesifikasi DHT11 [50]

Model	DHT11
<i>Power supply</i>	3VDC - 5.5VDC
Sinyal Output	Digital signal via single-bus
Rentang Ukur	Kelembaban 20 - 90% RH \pm 5% RH <i>error</i> temperatur 0 - 50°C <i>error of</i> \pm 2°C
Akurasi	Kelembaban \pm 4%RH (Max \pm 5%RH); Temperatur \pm 2.0°C

Resolusi atau Sensitivitas	<i>Humidity</i> 1%RH; <i>Temperature</i> 0.1°C
Pengulangan	<i>Humidity</i> ± 1%RH; <i>Temperature</i> ± 1°C
<i>Humidity hysteresis</i>	± 1%RH
<i>Long-term Stability</i>	± 0.5%RH/year
<i>Sensing period</i>	<i>Average</i> : 2s
<i>Interchangeability</i>	<i>Fully interchangeable</i>
Ukuran	15.5 x 5.5mm

B. Lux Meter Lutron LX-105 *Light Meter*

Lux meter merupakan alat untuk mengukur tingkat besarnya intensitas cahaya pada suatu tempat yang diukur. Lux meter LX-105 dapat mengukur 2 besaran cahaya berbeda yaitu besaran lux, dan besaran *foot-candle*. Pada proyek ini, akan digunakan besaran lux di mana lux meter LX-105 sendiri mampu mengukur intensitas cahaya hingga 50,000 lux dengan terdapat 3 tipe cahaya yang diukur, yaitu *daylight* atau tungsten, *fluorescent*, dan lampu merkuri. Pada proyek akhir ini, pilihan tipe cahaya yang digunakan adalah *daylight* dikarenakan proyek ini menggunakan jenis lampu LED. Spesifikasi dari Lux meter LX-105 dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Lux Meter LX1330B [53]

Model	Lux Meter LX-105 <i>Light Meter</i>
Tampilan	13 mm LCD
Power	Baterai 9V
Rentang ukur	Lux: 0 – 20,000 Lux <i>Foot candle</i> (Fc): 0 – 5,000 Fc

Akurasi	$\pm 4\%$ ± 2 digits baik Lux maupun Fc
Suhu operasional	0 – 50 °C (32 – 122 F)
Pilihan Tipe Cahaya	<i>Daylight</i> , tungsten, fluorescent, lampu mercuri
Tipe detektor cahaya	<i>Silicon Photo Diode</i> dengan Filter Pengkoreksi Warna
Massa	334 gram
Waktu Sampling	0.4 detik
Daya tahan baterai	± 200 jam
Ukuran	180 x 72 x 32 mm
Ukuran detektor cahaya	85 x 55 x 12 mm

Gambar 2.11 merupakan tampilan dari Lux meter Lutron LX-105.



Gambar 2.11 Lux Meter Lutron LX-105

C. pH Meter Mediatech

pH meter adalah alat elektronik yang digunakan untuk mengukur pH (keasaman atau alkalinitas) dari cairan. pH meter Mediatech memiliki akurasi ± 0.01 pH [54]. Tampilan dari pH meter Mediatech dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 pH Meter Mediatech

D. TDS Meter Mediatech

TDS meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur total padatan seperti mineral, garam atau logam yang terlarut dalam sejumlah volume air, TDS sendiri dinyatakan dalam miligram per liter (mg/L) atau *part per million* (ppm). Spesifikasi TDS meter Mediatech dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi TDS Meter Mediatech

Model	TDS meter Mediatech
Rentang	0 – 9,999 ppm/mg / L.
Resolusi	1 ppm (0-999 ppm) ; 10 ppm (1,000 – 9,990 ppm)
Akurasi	2%
Suhu Pengoperasian	0 - 50 °C

Dimensi	14.2 x 2.5 x 1.5 cm
Baterai	2LR44 cell

Sumber: Mediatech

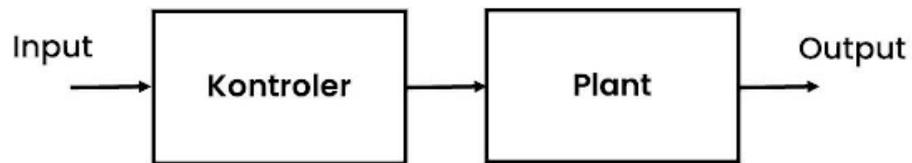
Tampilan dari TDS Meter Mediatech dapat dilihat pada Gambar 2.13.



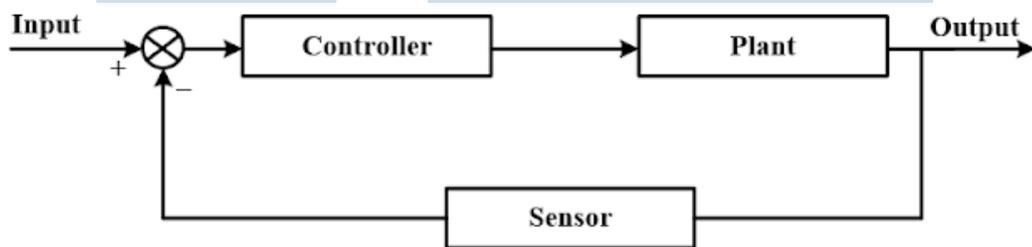
Gambar 2.13 TDS Meter Mediatech

E. Open Loop vs Close Loop

Dalam sistem kontrol, terdapat 2 bentuk *loop* yaitu sistem kontrol *loop* terbuka dan sistem kontrol *loop* tertutup. Sistem kontrol *loop* terbuka adalah sistem kontrol dengan sinyal keluar tidaklah mempengaruhi aksi pengendalinya dan hasil keluaran tidak menjadi umpan balik untuk masukan sistem, sedangkan sistem kontrol *loop* tertutup adalah sistem kontrol dengan sinyal keluaran mempengaruhi aksi pengendalinya dan hasil keluaran akan mempengaruhi aksi pengendalinya [55]. Untuk gambar diagram *loop* terbuka dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan gambar diagram *loop* tertutup dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.14 Diagram *Loop* Terbuka [56]



Gambar 2.15 Diagram *Loop* Tertutup [55]

Pada setiap sistem *loop*, terdapat komponen-komponen utama yang memiliki fungsinya sendiri [55], yaitu:

- 1) *Input*, merupakan masukan yang diberikan kepada sistem kontrol.
- 2) *Output*, merupakan keluaran dari sistem pengontrol.
- 3) *Plant*, merupakan objek yang dikontrol.
- 4) *Controller*, merupakan alat yang berfungsi untuk mengendalikan plant pada sistem.
- 5) *Error detector* atau sensor, Bagian yang berfungsi untuk mendeteksi kesalahan dan memberikan umpan balik (*feedback*) dengan cara menunjukkan selisih antara input dan umpan balik. Komponen ini hanya diterapkan pada sistem *loop* tertutup.
- 6) Gangguan, merupakan sinyal tambahan yang mengganggu dan menyebabkan hasil keluaran nilai berbeda dengan nilai yang diinginkan.

Terdapat kelebihan dan kekurangannya masing-masing untuk setiap *loop* sistem, dimana kelebihan dan kekurangannya [57] dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kelebihan dan Kekurangan *Loop* Sistem Kontrol

Sistem kontrol <i>Open Loop</i>		Sistem Kontrol <i>Close Loop</i>	
Kelebihan	Kekurangan	Kelebihan	Kekurangan
Perlengkapan cenderung lebih terjangkau	Akurasi kurang terjaga sehingga dibutuhkan kalibrasi	Akurasi lebih terjaga	Perlengkapan lebih mahal
Instalasi dan perawatan lebih mudah	Mudah untuk dipelihara	Nonlinearitas komponen tidak mengganggu	Perawatan yang sulit
Tidak ada masalah kestabilan		Cocok untuk mengatur komponen yang kurang teliti	Rentan terjadi osilasi akibat koreksi berlebih

Pada proyek akhir ini, dalam menjalankan sistem-sistem, digunakan sistem kontrol *loop* terbuka dikarenakan sinyal keluaran tidaklah memiliki pengaruh langsung terhadap sinyal kontrol, sehingga nilai *feedback* tidaklah dibutuhkan. Namun, agar akurasi setiap alat khususnya tetap terjaga, dilakukan *maintenance* atau pemrograman ulang setiap minggunya.

2.1.8 Standar yang Digunakan

Standar 81 FR 51297 merupakan standar pangan resmi Amerika Serikat yang dibuat oleh *The Agricultural Marketing Service (AMS) of the U.S. Department of Agriculture (USDA)* yang berfungsi menjadi penilai kesegaran

dari buah-buahan, sayur-sayuran, buah dan sayur untuk pengolahan, kacang-kacangan, dan tanaman khas. Standar ini mengatur sekiranya 41 jenis buah dan sayuran, dengan salah satunya adalah bayam. Standar ini menilai dengan cara mengeliminasi buah dan sayuran yang tidak memenuhi kategori dari setiap standar [58].

Pengaplikasian standar 81 FR 51297 khususnya untuk tanaman bayam adalah dengan melakukan *grading* terhadap tanaman bayam berdasarkan panduan penilaian yang telah tercantum di dalam standar, terdapat 3 bentuk *grading* yang dicantumkan pada standar, yaitu *U.S No 1*, *U.S Extra No 1*, dan *U.S Commercial*. Terdapat 3 jenis tata cara inspeksi pada standar, yaitu tata cara inspeksi tanaman bayam, tata cara inspeksi daun bayam, dan tata cara inspeksi bayam seikat. Pada penelitian ini, akan digunakan 1 tata cara inspeksi, yaitu tata cara inspeksi daun bayam. Inspeksi standar ini menilai kualitas tanaman bayam beserta batas toleransi kerusakan. Salah satu contoh inspeksi yang dicantumkan pada standar ini adalah kebersihan. Misalnya tanaman bayam terlihat sedikit kotor akibat material dari luar, tanaman bayam akan dinilai mengalami “penurunan kualitas/ kerusakan” dan dilaporkan “cukup kotor” [13].

