

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Safinatul Aulia, dkk dengan penelitian mengenai pengaruh intensitas cahaya lampu dan lama penyinaran terhadap pertumbuhan tanaman kangkung pada sistem hidroponik *indoor* pada tahun 2019. Penelitian tersebut menggunakan 2 variasi warna lampu neon yaitu lampu putih dan kuning dengan penyinaran dilakukan selama 10 jam dengan lampu putih dan penyinaran 24 jam dengan lampu kuning. Dijelaskan bahwa intensitas cahaya berpengaruh signifikan terhadap perlakuan warna lampu, dimana tanaman yang menggunakan lampu berwarna putih memiliki pertumbuhan lebih cepat dan baik dibandingkan menggunakan lampu berwarna kuning, karena pada dasarnya tanaman membutuhkan cahaya yang lebih terang untuk menggantikan sinar matahari sebagai proses fotosintesis. Tanaman membutuhkan cahaya berwarna kuning hanya dalam persentase yang sangat kecil atau tanaman tidak banyak mengalami pertumbuhan meskipun durasi lampu berwarna kuning disinari selama 24 jam [5].

Nanda Salsabila, dkk mengalisa pengaruh intensitas cahaya lampu LED pada pertumbuhan bayam pada tahun 2019 dengan warna LED merah (intensitas cahaya 8 Lux, 17 Lux, 21 Lux dan 60 Lux) dan biru (intensitas cahaya 31 Lux, 41 Lux, 51 Lux dan 68 Lux) serta kombinasi merah biru (intensitas cahaya 27 Lux, dan 68 Lux). Pemberian cahaya merah pada tanaman akan memiliki batang yang semakin tinggi jika intensitasnya lebih besar dengan intensitas optimal yaitu diantara 21 Lux – 64 Lux, akan tetapi daun terlihat hijau kekuningan dan kecil. Pemberian cahaya biru pada tanaman akan semakin lambat pertumbuhan batang jika intensitas yang diberikan terlalu besar, intensitas optimal yang dapat digunakan yaitu 68 Lux, akan tetapi daun yang tumbuh semakin terlihat hijau dan panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika menggunakan penggabungan cahaya merah dan biru, kualitas tanaman lebih baik daripada menggunakan cahaya merah dan biru secara terpisah dan intensitas optimal yang dapat digunakan yaitu 68 Lux dengan rentang hidup 22 hari [13].

Wilis Ari Setyati, dkk meneliti mengenai Efek Panjang gelombang terhadap pertumbuhan Propagul pada kultur jaringan *Eucheuma* pada tahun 2020 dengan metode secara experimental laboratoris dengan perlakuan perbedaan Panjang gelombang yaitu lampu cahaya merah ($\lambda=633,8$ nm), hijau ($\lambda=515,8$ nm), biru ($\lambda=455,7$ nm), cahaya gabungan pada lampu LED ($\lambda=456,6$ nm, 515,8 nm, dan 632,9 nm) dan cahaya *fluorescent* pada lampu TL ($\lambda=407$ nm, 443 nm, 557 nm dan 592 nm) dengan penyinaran cahaya gelap : terang = 12 : 12 jam dengan intensitas 2500 lux. Berdasarkan hasil penelitian rata-rata pertumbuhan mutlak bobot tertinggi pada Panjang gelombang cahaya 455,7 nm. Hal ini diduga gelombang cahaya biru berperan dalam pertumbuhan maupun proses metabolisme sel [14].

Mas Aly Afandi, dkk melakukan penelitian mengenai Pencahayaan Buatan berbasis mikrokontroler untuk membantu pertumbuhan benih Pakcoy pada tahun 2021, dengan membandingkan tanaman yang menggunakan *artificial lighting* dengan tanaman yang tidak menggunakan *artificial lighting*, menghasilkan bahwa tanaman yang menggunakan pencahayaan buatan dengan sensor AS7262 memberikan pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan dengan lingkungan pencahayaan rendah. LED dengan 3 kombinasi warna dasar merah, hijau dan biru dapat menghasilkan 5 warna cahaya yang berbeda yaitu putih, kuning, ungu, dan toska. Warna yang dihasilkan berbeda berarti spektrum cahaya yang berbeda. Pengendalian nilai untuk sinyal PWM perlu dijaga sebaik mungkin untuk memastikan bahwa spektrum cahaya dalam alokasi benar [9].

Endah Nugraheni, dkk pada tahun 2021 melakukan penelitian mengenai respon pertumbuhan dan biokimia *microgreens* tanaman basil terhadap kombinasi warna LED dan lama penyinaran yang berbeda. Penelitian ini menggunakan kombinasi warna LED yaitu warna merah, biru, dan merah:biru selama penyinaran 12, 16 dan 20 jam. Penelitian menunjukkan bahwa terdapat interaksi antara perlakuan kombinasi warna cahaya dan lama penyinaran. Dijelaskan bahwa spektrum cahaya biru dapat meningkatkan produktivitas tanaman karena mempengaruhi keberlangsungan proses fotosintesis dan pigmen fitokrom yang ada pada tanaman menyerap spektrum cahaya merah yang berpengaruh terhadap ukuran tanaman. Perlakuan lama penyinaran selama 20 jam tidak berbeda jauh dengan penyinaran selama 16 jam, namun berbeda dengan perlakuan lama penyinaran

selama 12 jam yang cukup bagus. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penyinaran dengan kombinasi warna cahaya 100%M dengan lama penyinaran 20 jam dapat meningkatkan kandungan klorofil dan karotenoid *microgreen* basil [15].

Fitria Suryatini, dkk meneliti mengenai sistem kendali nutrisi hidroponik berbasis *Fuzzy logic* berdasarkan objek tanaman pada tahun 2021. Sistem kendali yang digunakan adalah *Fuzzy logic* mamdani dengan *input offset* kadar nutrisi dan level air, serta *output* durasi nyala motor pompa nutrisi dan air untuk mencapai *set point*. Kesimpulan dari hasil penelitian menunjukkan nilai keberhasilan sebesar 95,14% untuk kendali nutrisi dan 91,64% untuk kendali level air dalam mencapai *set point*, serta menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih baik, dimana rata-rata penambahan tinggi antara sistem dengan dan tanpa kendali nutrisi memiliki perbedaan sebesar 1,96 cm. Pertumbuhan 9 tanaman diberikan sistem kendali nutrisi dengan *Fuzzy logic* tetap berwarna kehijauan sedangkan 9 tanaman tidak dilakukan kendali nutrisi *Fuzzy logic* mengalami kekuningan [1].

Xiao-li Chen, dkk dalam jurnal *scientific reports* pada tahun 2021 menjabarkan mengenai pengaruh panjang gelombang lampu LED merah dan biru pada morfologi, penggunaan energi serta kandungan gizi pada tanaman selada. Kombinasi merah biru dengan proporsi merah dan biru yang berbeda menghasilkan konsumsi energi yang bervariasi. Selada memiliki tingkat konsumsi yang tinggi pada proporsi warna merah dibanding biru. Penelitian dengan 6 proporsi RB yaitu 0%B:100%R, 10%B:90%R, 30%B:70%R, 50%B:50%R, 75%B:25%R, dan 100%B:0%R menyatakan bahwa panjang hipokotil bibit menurun dengan meningkatnya proporsi biru yang menghambat pemuaihan daun, sedangkan merah menginduksi daun selada memanjang. Kandungan klorofil secara bertahap meningkat dengan meningkatnya proporsi biru dan warna daun menjadi lebih hijau [16].

Dwi Indah Lestari, dkk pada penelitian pengaruh spektrum cahaya terhadap perkecambahan kacang hijau yang dilakukan pada tahun 2021 menggunakan spektrum warna LED jingga, biru, merah dan hijau. Tanaman tumbuh lebih efektif jika diberi spektrum warna merah ditandai dengan pertumbuhan batang yang lebih tinggi dibanding warna lainnya, sedangkan jumlah daun tiap spektrum warna sama. Pada spektrum warna biru, tanaman kacang hijau dapat tumbuh tapi laju

pertumbuhannya tidak secepat pada spektrum merah dan jingga. Panjang gelombang sebesar 620 nm – 750 nm bekerja dengan optimal dikarenakan spektrum warna yang dibutuhkan kacang hijau untuk berfotosintesis berkisar pada 610 nm – 700 nm [17].

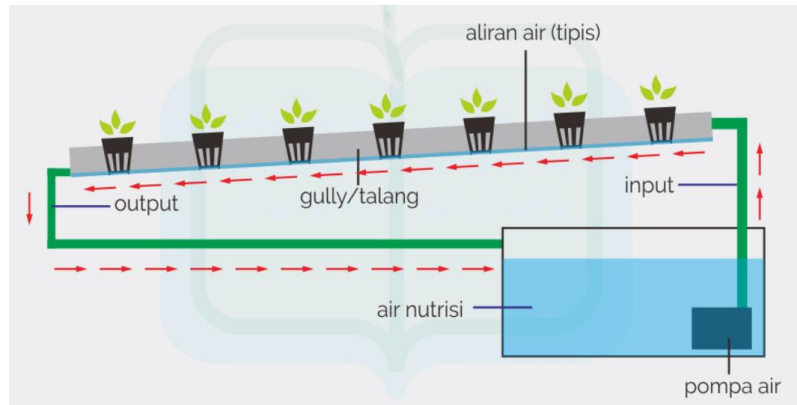
Mas Aly Afandi, dkk pada tahun 2022 melakukan penelitian mengenai Perangkat Budidaya *Microgreen* berbasis IOT, menggunakan tanaman kangkung yang tersinari pada rentang waktu yang diberikan dengan intensitas cahaya yang dibutuhkan menggunakan sensor BH1750 dan sensor kelembaban YL-69. Sensor dapat bekerja dengan akurasi untuk sensor kelembaban pada tingkat kelembaban 15%, 30%, 60%, 80%, dan 90% masing-masing adalah 93,47%, 96,29%, 98,83%, 97,08%, dan 99,05%. Sensor BH1750 akurat dalam pembacaan intensitas cahaya pada jarak 10 cm dan 15 cm masing-masing sebesar 99,98% dan 99,85%. Perangkat mampu membaca parameter kelembaban serta mengatur waktu penyinaran dan fungsi *monitoring* melalui IoT *platform* Antares [10].

2.2 DASAR TEORI

Pada bab ini mengkaji mengenai apa saja hal yang perlu dipahami pada penelitian yang dilakukan terkait perangkat lunak maupun perangkat keras untuk mendapatkan gambaran dalam mengembangkan gagasan yang dikaji.

2.2.1 Hidroponik

Hidroponik merupakan sistem budidaya tanaman tanpa menggunakan tanah, tetapi menggunakan air yang berisi larutan *nutrient*. Budidaya hidroponik ini biasanya dilaksanakan di dalam rumah kaca untuk menjaga supaya pertumbuhan tanaman secara optimal dan benar-benar terlindung dari pengaruh unsur luar seperti hujan, hama penyakit, iklim, dan lain-lain. Jenis hidroponik dapat dibedakan dari media yang digunakan untuk membuat tanaman berdiri tegak, media tersebut biasanya bebas dari unsur hara (steril), sementara itu pasokan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dialirkan ke dalam media tersebut melalui pipa atau disiramkan secara manual. Media tersebut dapat berupa kerikil, pasir, gabus, arang, zeolite atau tanpa media agregat (hanya air) [18].



Gambar 2.1 Contoh Media Hidroponik[19]

2.2.2 *Microgreen*

Microgreen adalah tanaman pangan fungsional yang diadakan dengan tujuan menciptakan diversifikasi pangan yang berkelanjutan secara global, memfasilitasi adaptasi terhadap urbanisasi dan perubahan iklim serta meningkatkan kesehatan. Penanaman *microgreens* yang tidak menggunakan zat kimia seperti pupuk atau pestisida. Tanaman *microgreen* merupakan tanaman muda karena secara umum dapat dipanen pada umur 7-21 hari setelah semai. Pemanenan *microgreen* cukup dengan memotong tanaman tersebut tepat di atas permukaan medium pertumbuhannya dengan panjang sekitar 3-9 cm tanpa akar [2], [4].



Gambar 2.2 *Microgreen* Alfalfa[4]

Pada *microgreen* terdapat kandungan nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman normal (*non-microgreen*). *Microgreen* dapat mengandung nutrisi hingga 40 kali lebih banyak jika dibandingkan dengan tanaman normal. Tingginya kandungan nutrisi pada *microgreen* disebabkan karena pada umur 7-21 hari

tumbuhan masih mengalami proses katabolisme. Hal ini dikarenakan tingkat fitonutrien berbeda menurut tahap pertumbuhan tanaman dan sering menurun dari fase semai ke tahap tanaman dewasa [3]. Dengan mengkonsumsi beberapa gram *microgreens*, maka kebutuhan senyawa antioksidan telah terpenuhi. Konsumsi *microgreens* dalam keadaan mentah selain segar juga akan mengurai hilangnya kandungan senyawa bioaktif seperti vitamin dan pigmen yang dibutuhkan oleh tubuh manusia [4].

Bagian yang dapat dimakan yaitu batang, kotiledon dan juga daun pertama yang sudah terbuka sempurna. Pada beberapa spesies, *microgreens* masih menyertakan kulit biji (*integument*) yang menempel terus pada kotiledonnya sehingga ikut termakan. Berbeda dengan kecambah atau dikenal dengan tauge yang hanya beberapa hari, dengan maksimal 7 hari panen. Bagian yang dikonsumsi dari tauge adalah akar, batang dan biji kotiledon yang belum terbuka, begitupun daun pertamanya belum muncul [4].

2.2.3 Benih Alfalfa

Tanaman alfalfa (*Medicago sativa*) merupakan tanaman dari *famili legum* yang sejak ratusan tahun lalu digunakan sebagai pakan ternak. Namun, belakangan ini tanaman alfalfa mulai dikenal sebagai tanaman herbal yang memiliki manfaat untuk kesehatan, orang-orang menggunakan daun, tunas, dan bibitnya untuk dijadikan obat. Tanaman alfalfa digunakan untuk kondisi berhubungan dengan ginjal, kandung kemih dan kondisi prostat, serta untuk meningkatkan peredaran urine. Selain itu, juga digunakan untuk kolesterol tinggi, asma, osteoarthritis, rematik, diabetes, sakit perut dan gangguan perdarahan[20], [21].



Gambar 2.3 Microgreen Alfalfa[21]

2.2.4 Fotosintesis

Fotosintesis adalah peristiwa perubahan senyawa anorganik (CO₂ dan H₂O) menjadi senyawa organik (karbohidrat) dan O₂ dengan bantuan cahaya matahari. Tumbuhan berfotosintesis menggunakan karbon dioksida dan air untuk menghasilkan gula dan oksigen yang diperlukan sebagai makanannya. Berikut ini adalah persamaan reaksi fotosintesis yang menghasilkan glukosa :



Cahaya matahari menjadi sumber energi utama bagi proses fotosintesis. Energi yang diberikan oleh cahaya tersebut bergantung terhadap kualitas (panjang gelombang), intensitas serta waktu penyinaran. Fotosintesis juga bergantung pada jumlah foton atau kuantum yang diserap. Foton berenergi tinggi pada spektrum biru mempunyai energi hampir 2 kali lipat dibandingkan dengan foton pada spektrum merah, tapi kedua foton itu mempunyai efek yang sama dengan dalam proses fotosintesis. Ada banyak faktor utama yang mempengaruhi proses fotosintesis, salah satunya adalah klorofil. Klorofil adalah sebuah pigmen yang terdapat dalam kloroplas yang berfungsi untuk menyerap sinar matahari yang mengabsorpsi cahaya merah dan biru. Pigmen inilah yang memberi warna hijau pada tumbuhan[22].

2.2.5 Media Tanam *Rockwool*

Rockwool adalah salah satu media tanam metode hidroponik yang bentuknya seperti kumpulan serat yang berlubang seperti spons, tetapi lebih tebal dan daya serapnya lebih bagus. Media tanaman *rockwool* berasal dari batu (umumnya batu basalt, batu kapur atau batu bara), kaca, atau keramik yang dilelehkan pada suhu tinggi kemudian dipintal membentuk serat-serat. *Rockwool* memiliki kemampuan menahan air dan udara dalam jumlah besar yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan akan dan penyerapan nutrisi. *Rockwool* juga memiliki struktur yang sangat baik untuk menopang batang dan akar tanaman sehingga dapat berdiri tegak dan stabil, serta tidak dapat terurai begitu saja. Media tumbuh ini memiliki 95% ruang pori, sehingga memiliki kapasitas yang sangat besar untuk menahan air [4].

Pada prinsipnya *microgreens* akan tumbuh dengan baik pada bermacam-macam media tumbuh, selama *microgreens* tersebut mendapatkan air, oksigen, dan nutrisi. Namun, tidak semua media tumbuh akan cocok untuk memberikan

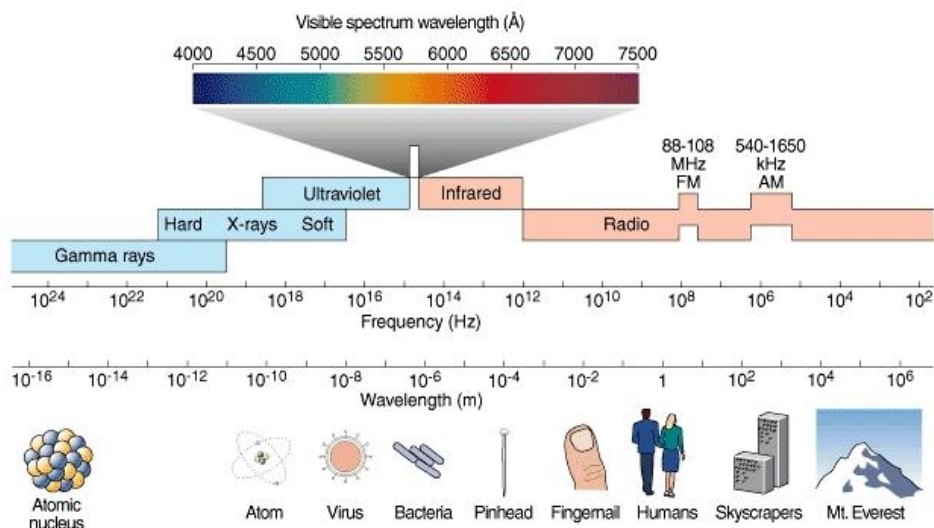
pertumbuhan *microgreens* yang optimal. Struktur media tumbuh harus tahan lama untuk mampu menopang setidaknya satu atau lebih spesies *microgreens*. Serta tidak mudah terurai menjadi partikel kecil yang akan mengganggu suplai oksigen ke akar *microgreens*. Struktur media tumbuh tersebut harus mampu menjaga keberadaan dari air, oksigen, dan nutrisi yang berada di dalamnya[4].



Gambar 2.4 Rockwool[4]

2.2.6 Spektrum Cahaya

Spektrum cahaya merupakan suatu bagian dari spektrum elektromagnetik yang tampak oleh mata manusia. Radiasi elektromagnetik dalam rentang Panjang gelombang ini disebut cahaya. Jarak antara puncak gelombang elektromagnetik disebut Panjang gelombang. Panjang gelombang berkisar antara ≤ 1 nm hingga ≥ 1 km. Berikut merupakan gambar yang menunjukkan spektrum cahaya dalam spektrum gelombang elektromagnetik secara keseluruhan [23].



Gambar 2.5 Spektrum Cahaya[24]

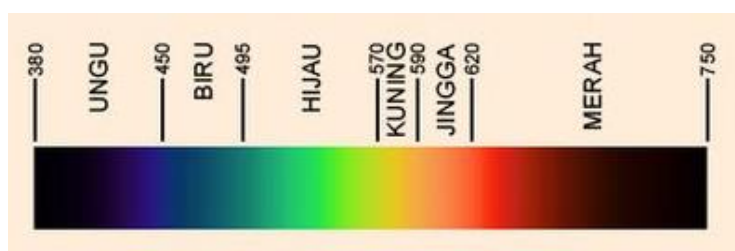
Satuan panjang :

$$\mu m = \text{micron} = \frac{1}{1000} mm$$

$$nm = \text{nanometers} = 10^{-9} m = \frac{1}{1000} \mu m$$

$$\text{\AA} = \text{angstroms} = 10^{-10} m = 0.1 \text{ nm} = \frac{1}{10000} \mu m$$

Cahaya matahari sebagai sumber cahaya polikromatik yang mana cahaya putih yang terdiri dari tujuh spektrum warna yaitu merah, jingga, kuning, hijau, biru, nila dan ungu. Warna spektrum itulah yang memiliki suatu panjang gelombang. Cahaya berhubungan dengan Panjang gelombang atau frekuensi cahaya tersebut. Cahaya tampak ini merupakan cahaya yang sensitif terhadap mata manusia dengan kisaran Panjang gelombang 400 nm – 750 nm. Fotosintesis dapat berlangsung apabila tanaman pada penelitian ini mendapat cahaya matahari. Namun, cahaya alami tersebut digantikan dengan peran LED yang dapat diatur Panjang gelombangnya hingga sesuai dengan cahaya yang dibutuhkan tanaman. Berikut tabel perbedaan Panjang gelombang pada sinar tampak:



Gambar 2.6 Panjang Gelombang Sinar Tampak[23]

Tabel 2.1 Perbedaan Panjang Gelombang Sinar Tampak

Warna	Panjang gelombang	Frekuensi
Ungu	380-450 nm	668-789 THz
Biru	450-495 nm	606-668 THz
Hijau	495-570 nm	526-606 THz
Kuning	570-590 nm	508-526 THz
Jingga	590-620 nm	484-508 THz
Merah	620-750 nm	400-484 THz

Pada tabel (2.1) dapat dilihat bahwa panjang gelombang berkaitan langsung dengan frekuensi, dimana panjang gelombang dan frekuensi memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Jadi, semakin besar panjang gelombang, maka semakin kecil pula frekuensi yang dihasilkan. Berdasarkan studi literatur bahwa gelombang cahaya biru dan cahaya merah adalah yang paling efektif dan cahaya hijau yang paling tidak efektif dalam melakukan fotosintesis. Hal ini berkaitan dengan sifat

cahaya yang dipantulkan, diteruskan (di transmisi) dan diserap (diabsorpsi). Bahan-bahan yang menyerap cahaya tampak disebut dengan pigmen. Daun tampak berwarna hijau karena klorofil menyerap cahaya warna merah dan biru. Ketika meneruskan dan memantulkan cahaya warna hijau. Benda cahaya akan menghasilkan panjang gelombang campuran dan berdampak dalam menghasilkan kualitas cahaya [23].

Sifat fisik klorofil adalah menerima dan memantulkan cahaya dengan gelombang yang berbeda. Klorofil tanaman banyak menyerap cahaya dengan panjang gelombang berkisar antara 400 nm – 700 nm dan mayoritas spektrum cahaya yang diserap adalah cahaya biru dan cahaya merah. Pigmen lain yang terkandung dalam tanaman selain klorofil adalah karotenoid. Karotenoid merupakan pigmen pendamping klorofil yang berfungsi dalam penyerapan energi cahaya saat proses fotosintesis [15].

2.2.7 Intensitas Cahaya pada Fotosintesis

Intensitas cahaya merupakan suatu kuat cahaya untuk mengukur daya pada suatu cahaya pancarkan. Cahaya tersebut berdasarkan arah atau per satuan sudut tertentu. Simbol dari intensitas cahaya adalah I, sedangkan untuk standar satuan Candela (cd) merupakan intensitas cahaya pada arah tertentu. Dimana, sumber cahaya untuk 1 cd memiliki frekuensi 540×10^{12} Hz dengan intensitas radian pada arah $\frac{1}{628} \text{ W/sr}$. Selain Candela, ada Lumen dan Lux. Sederhananya, Candela menunjukkan seberapa terang sumber cahaya tersebut, Lumen menunjukkan tingkat kecerahan pada sebuah sumber cahaya dari segala arah, dan Lux menunjukkan tingkat kecerahan yang diterima (terpapar) akibat adanya sumber cahaya. Ketiga merupakan satuan cahaya dengan identitas yang berbeda, dimana Lumen turunan dari Candela, dan Lux turunan dari Lumen [25].

Lux —————→ Lumens —————→ Candela

Dimana :

$$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2 = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr/m}^2$$

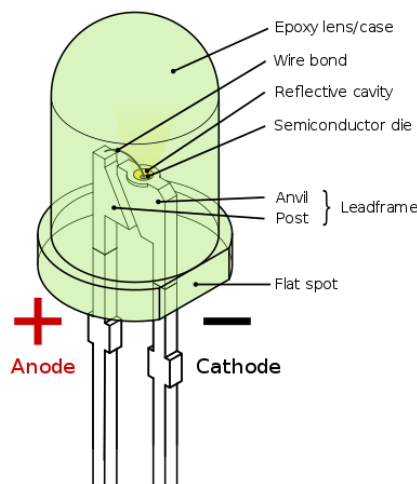
Sebuah bola memiliki sudut padat steradian 4π , sehingga sumber cahaya yang memancarkan 1 Cd secara seragam ke segala arah memiliki fluks cahaya total sebesar:

$$1 \text{ cd} \times 4\pi \text{sr} = 4\pi \text{cd} \cdot \text{sr} \approx 12,57 \text{ lm}$$

Intensitas cahaya sangat berpengaruh terhadap efisiensi fotosintesis suatu tanaman. Penyesuaian tanaman terhadap intensitas cahaya menghasilkan fotosintesis yang efisien sehingga tumbuhan dapat tetap hidup dan mempunyai produktivitas yang tinggi [26]. Peningkatan intensitas cahaya menyebabkan kenaikan yang sebanding dengan laju fotosintesis, jika intensitas cahaya tinggi maka laju fotosintesis menjadi konstan [13]. Penyinaran dengan intensitas yang lebih Panjang akan mempercepat inisiasi atau pembentukan daun pada tanaman. Proses fotosintesis dalam tanaman akan semakin tinggi jika energi yang dipancarkan lebih banyak dan dalam waktu yang lebih Panjang, tanaman dengan laju fotosintesis yang tinggi akan memiliki laju translokasi fotosintat yang tinggi [27].

2.2.8 *Light Emitting Diode*

Light Emitting Diode yang biasa dikenal dengan LED adalah sebuah perangkat sumber cahaya bersifat semi konduktor dua arah yang akan memancarkan cahaya bila dalam keadaan aktif. LED berfungsi untuk mengemisi cahaya dari catuan arus yang diberikan. Panjang gelombang dan warna dihasilkan oleh LED tergantung dari energi *band-gap* dari *p-junction* yang terdapat pada material semi konduktor[28].

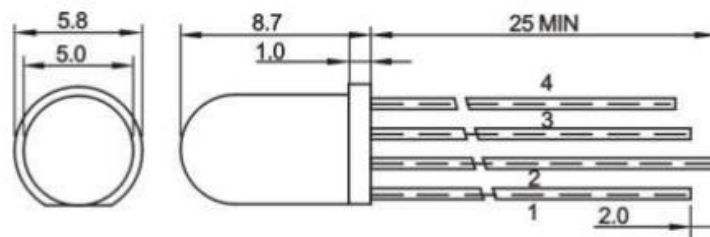


Gambar 2.7 Struktur Penyusun LED[28]

Penelitian ini menggunakan *artificial lighting*, yang mana penggunaan cahaya buatan. Penelitian ini menggunakan lampu LED RGB. Lampu LED termasuk ke dalam keluarga dioda, yang berarti lampu LED bersifat semi konduktor. Lampu LED memiliki *chip* semikonduktor yang menimbulkan *junction*

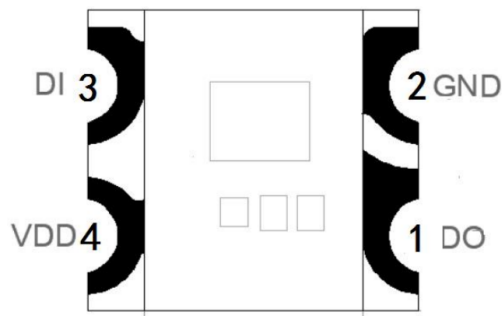
positif dan negatif dan menghasilkan kelistrikan. Cara kerja lampu LED yaitu memancarkan cahaya saat dialiri tegangan dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi cahaya. Sehingga lampu LED mampu langsung memancarkan cahaya secara maksimal, tidak memerlukan waktu pemanasan seperti bohlam, dan tidak menimbulkan panas.

LED RGB salah satu jenis LED yang terdiri dari 3 macam spektrum warna yaitu Merah, Hijau, dan Biru untuk menghasilkan warna. LED ini memiliki 4 koneksi. Konfigurasi koneksi 1 adalah pemicu warna merah, koneksi 2 katoda atau anoda umum berdasarkan fabrikasi, koneksi 3 pemicu warna biru, dan koneksi 4 warna hijau. Jenis LED ini menggunakan daya 5V sebagai sumber anoda dan menggunakan modulasi PWM untuk menggerakkan dan menghasilkan cahaya tertentu.



Gambar 2.8 LED RGB[9]

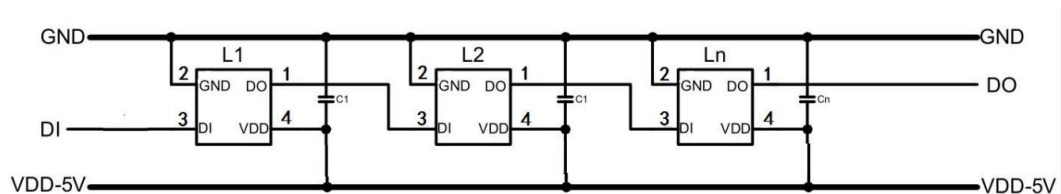
Pada penelitian ini menggunakan lampu LED RGB *strip* tipe WS2812B sebagai indikator. Penggunaan LED terhadap budidaya *indoor* bukanlah suatu hal yang baru. Selain dikarenakan hemat dalam penggunaan listrik, energi panas yang dikeluarkan tidak akan merusak tanaman. LED banyak digunakan karena tidak dibutuhkan terlalu besar dalam mengkonsumsi daya. Keunggulan dari LED yaitu harga yang murah, *life-time* yang Panjang karena dapat beroperasi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan lampu pijar dan membutuhkan daya yang kecil untuk beroperasi [13], [29].



Gambar 2.9 LED RGB *strip* WS2812B[29]

Tabel 2.2 Fungsi-Fungsi Pin pada LED WS2812B

Symbol	Pin	Fungsi
DO	<i>DATA OUT</i>	Kontrol sinyal data keluaran
GND	<i>GROUND</i>	<i>Ground</i> , daya dan data <i>grounding</i>
DI	<i>DATA IN</i>	Kontrol sinyal data masukan
VDD	<i>POWER SUPPLY</i>	Sumber daya listrik



Gambar 2.10 Sirkuit Aplikasi LED *strip* RGB WS2812B[29]

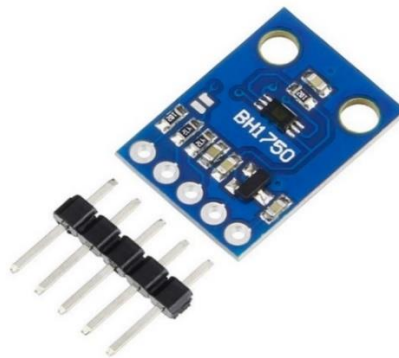
LED dapat memenuhi kebutuhan tanaman untuk fotosintesis dan budidaya dalam skala sedang. LED dengan kualitas yang baik dan spektrum yang tepat akan mendukung tanaman dalam bertumbuh. Selain menjadi solusi dalam meningkatkan produksi pertanian, LED juga dapat meningkatkan penyerapan nutrisi untuk tanaman. Kombinasi LED dengan spektrum warna merah dan biru meningkatkan penyerapan makro dan mikronutrien pada tanaman [9].

2.2.9 Sensor BH1750

Sensor BH1750 merupakan sebuah IC sensor yang digunakan untuk mengukur intensitas cahaya sekitar dalam ukuran atau satuan *lux*. Sensor ini menggunakan protokol I2C untuk komunikasi dengan mikrokontroler. Jangkauan deteksi sensor ini cukup lebar yaitu antara 1 – 65535 *lux*. 1 *lux* berarti besaran intensitas cahaya 1 lumen pada area seluas 1 meter persegi atau jika dituliskan dalam persamaan menjadi :

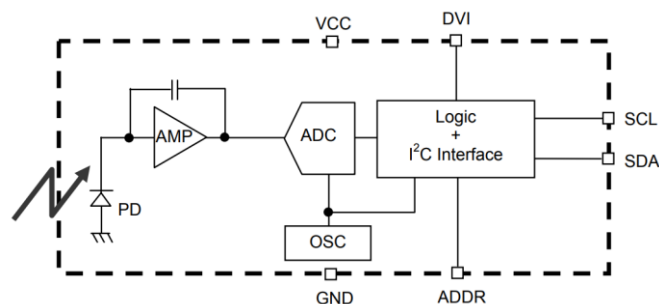
$$1 \text{ lux} = 1 \text{ Lm/m}^2$$

Sensor BH1750 baru dapat digunakan dengan sedikit komponen tambahan berupa kapasitor dan/atau resistor untuk keperluan *reset timing* internal dari sensor. Selain itu ada juga yang ditambahkan IC *regulator* untuk tujuan *step down* dari 5V ke 3,3 V agar dapat digunakan tegangan VCC 5V. Dipasaran kebanyakan sensor BH1750 yang tersedia sudah dalam bentuk modul yang sudah siap untuk digunakan, sehingga tidak perlu repot-repot lagi untuk memikirkan rangkaian tambahan tersebut. Sensor ini memiliki konsumsi arus lebih sedikit sebesar 0,12 mA dan ada kemungkinan kesalahan yang sangat kecil karena variasi dalam pengukuran serendah $\pm 20\%$ [8], [30].



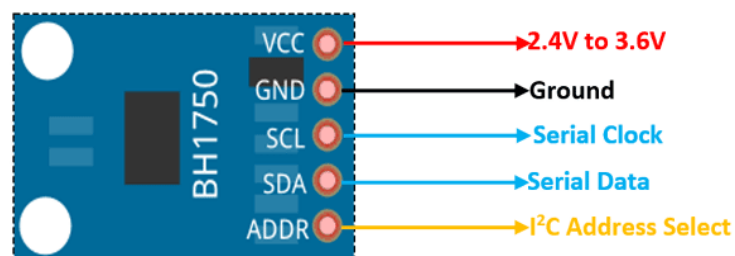
Gambar 2.11 Module BH1750[30]

Sensor BH1750 ini lebih akurat dan lebih mudah digunakan jika dibandingkan dengan sensor lain seperti fotodiode, LDR, dan sensor lainnya yang memiliki keluaran sinyal analog dan perlu melakukan perhitungan untuk mendapatkan data intensitasnya [31]. Prinsip kerja sensor ini yaitu tidak tergantung pada sumber cahaya yang digunakan, nilai Lux didapatkan dari BH1750 melalui bus I2C, memiliki ADC di IC untuk mengubah intensitas cahaya analog menjadi nilai Lux digital, tidak adanya perhitungan lain yang diperlukan untuk mengukur intensitas cahaya, nilai digital langsung diberikan ke mikrokontroler dengan bantuan pin I2C SCL dan SDA.



Gambar 2.12 Diagram Blok BH1750[32]

Sensor BH1750 memiliki *photodiode* (PD) yang dapat mendeteksi cahaya dan mengubahnya menjadi listrik. Cahaya diukur tergantung pada intensitasnya. Responnya mendekati respon mata manusia. Dalam sensor ini OP AMP terintegrasi mengubah arus dari *photodiode* menjadi tegangan, dan menggunakan ADC untuk mengkonversi nilai analog yang disediakan oleh AMP menjadi nilai digital. *Logic+I2C* tempat dimana nilai pencahayaan diubah menjadi *Lux* dan proses komunikasi I2C berlangsung. OSC adalah osilator *clock* internal 320 KHz yang digunakan sebagai *clock* untuk *internal logic*[32].



Gambar 2.13 Module BH1750 Pin Out[30]

Tabel 2.3 Konfigurasi Pin BH1750

Pin	Keterangan
VCC	Catu daya 2.4 – 3.6 V (umumnya 3 V)
GND	Terhubung ke <i>ground</i> sirkuit
SCL	<i>Serial Clock Line</i> , digunakan untuk menyediakan pulsa <i>clock</i> untuk komunikasi I2C
SDA	<i>Serial Data</i> , digunakan untuk mentransfer data melalui komunikasi I2C
ADDR	Pin alamat perangkat, digunakan untuk memilih alamat ketika lebih dari dua modul terhubung

Lux dan Lumen merupakan 2 hal yang berbeda, namun berhubungan. Lumen merupakan satuan pengukuran standar untuk jumlah cahaya yang dapat dihasilkan oleh sumber cahaya. Sederhananya, Lumen menunjukkan tingkat kecerahan pada sebuah sumber cahaya misalnya lampu. Semakin tinggi nilai Lumen sebuah lampu maka akan semakin terang cahaya yang dihasilkan lampu tersebut [33].

Lampu yang paling efisien adalah lampu LED, karena menghasilkan cahaya yang cerah walaupun dengan watt yang relatif kecil bila dibandingkan dengan bola lampu. Lain halnya dengan Lux yang merupakan satuan yang digunakan untuk mengukur intensitas atau kecerahan cahaya pada permukaan benda. Jadi

sederhananya, Lumen suatu tingkat kecerahan yang dihasilkan oleh sumber cahaya. Sedangkan Lux menunjukkan tingkat kecerahan yang diterima (terpapar) akibat adanya sumber cahaya [33].

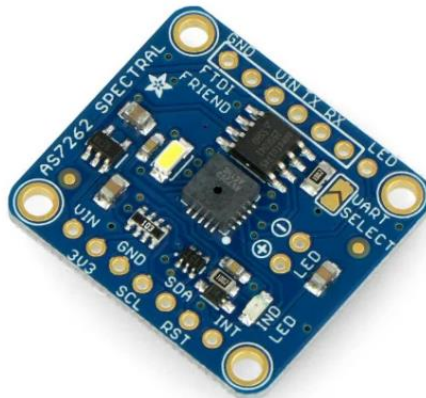


Gambar 2.14 Perbedaan Lumen dengan Lux[34]

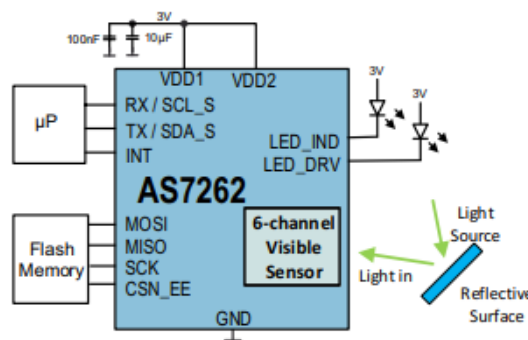
2.2.10 Sensor AS7262

Sensor AS7262 merupakan sensor spektrum cahaya yang digunakan pada penelitian ini, guna untuk membaca spektrum cahaya dari cahaya matahari dan mengirimkan informasi tersebut kepada Arduino Nano. Perangkat terintegrasi ini memiliki penginderaan multispektral 6 *channel* dalam panjang gelombang tampak sekitar 430 nm – 670 nm dengan *Full Width Half-Max* (FWHM) 40 nm. *Full Width Half-Max* adalah sudut pancar setengah daya yang dikeluarkan oleh LED yang dapat mentransmisikan sinyal informasi. Kontrol dan akses data spektral diimplementasikan melalui set register I2C, atau dengan set perintah spektral AT tingkat tinggi melalui UART serial [7].

Prinsip kerja sensor ini mendeteksi panjang gelombang dalam rentang cahaya tampak pada 450 nm, 500 nm, 550 nm, 600 nm, dan 650 nm cahaya masing-masing dengan 40 nm FWHM, nilai Lux didapatkan dari AS7262 melalui bus I2C, memiliki ADC untuk mengubah panjang gelombang analog menjadi digital. Nilai digital langsung diberikan ke mikrokontroler dengan bantuan pin I2C SCL dan SDA.



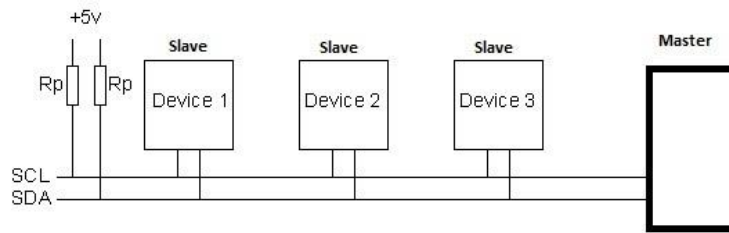
Gambar 2.15 Sensor Spektrum Cahaya AS7262[9]



Gambar 2.16 Diagram Blok Sensor AS7262[7]

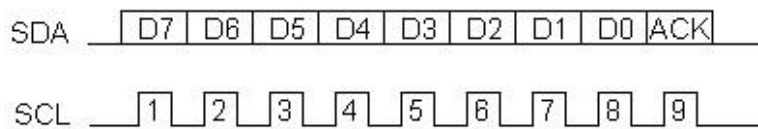
2.2.11 I2C (Inter Integrated Circuit)

Inter Integrated Circuit adalah standar komunikasi serial dua arah menggunakan dua jalur yang didesain khusus untuk mengirim maupun menerima data yang bersifat *synchronous*. Sistem I2C terdiri dari jalur SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya. Dimana SCL *line* merupakan jalur untuk *clock*, dan SDA *line* merupakan jalur untuk data. Semua peralatan yang akan digunakan dihubungkan seluruhnya pada jalur SCL dan SDA dari bus I2C tersebut. Protokol I2C mendefinisikan konsep komponen *Master* dan *Slave*. Komponen *Master* adalah komponen yang mengatur jalur pada waktu komunikasi bekerja serta mengatur sinyal *start* dan *stop* juga *clock*. Komponen *Slave* menunggu sinyal dari *Master* dan berjalan sesuai sinyal dan data yang dikirimkan. *Master* dapat mengirim data ke *Slave* dan menerima data dari *Slave*, tetapi *Slave* tidak dapat berkomunikasi antar *Slave*. Secara berurutan data dikirim dari *Master* ke *Slave* kemudian (setelah komunikasi *Master* ke *Slave* selesai) dari *Slave* ke *Master*.

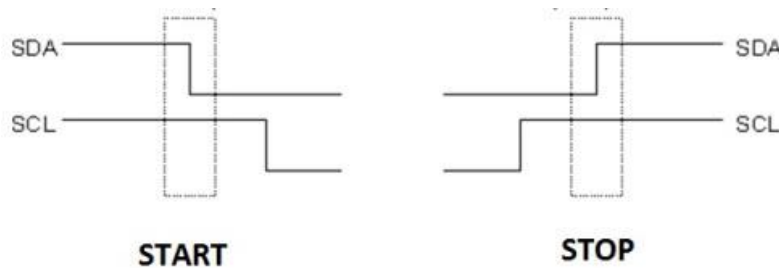


Gambar 2.17 Konfigurasi Komunikasi I2C[35]

Sinyal dasar I2C meliputi sinyal *start*, *stop* dan ACK, dimana sinyal SCL ‘mendorong’ data di SDA, dalam keadaan tidak ada transfer data SDA dan SCL harus dalam keadaan “1”. Data di SDA boleh berubah hanya pada saat SCL “0” seperti digambarkan pada diagram (2.14), isi SDA diambil peralatan I2C pada saat SCL berubah dari “1” menjadi “0”. Jika terjadi perubahan SDA pada saat SCL “1”, perubahan itu diartikan sebagai sinyal *start* atau *stop*.

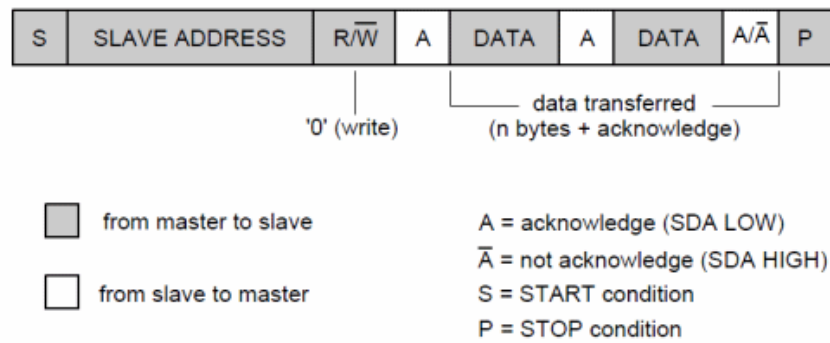


Gambar 2.18 Sinyal SDA dan SCL[35]



Gambar 2.19 Start dan Stop Sinyal I2C[35]

Sinyal *start* menandakan *master* akan mulai mengirim data, sinyal ini terlihat di bagian kiri gambar (2.15) berupa perubahan tegangan SDA dari “1” menjadi “0” atau *High to Low* (HtoL) pada saat SCL “1”. Sinyal *stop* menandakan *master* akan mengakhiri komunikasi data, sinyal ini terlihat di bagian kanan gambar (2.17) berupa perubahan tegangan SDA dari “0” menjadi “1” atau *Low to High* (LtoH) pada saat SCL “1” atau tetap tinggi.

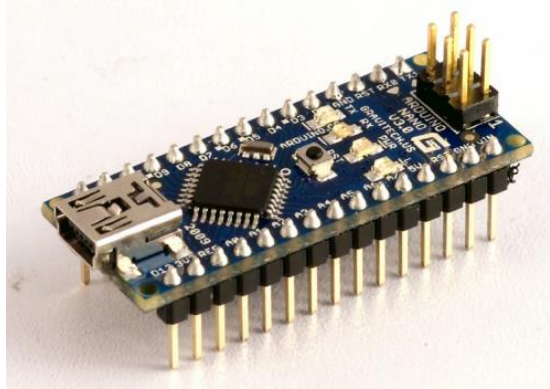


Gambar 2.20 Transfer Data I2C[35]

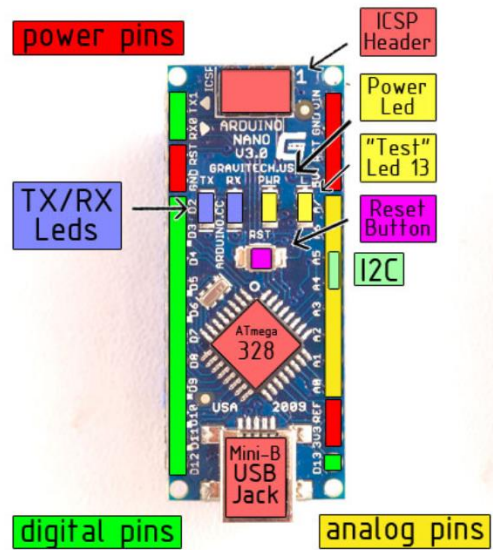
Gambar diatas menunjukkan bagian dimana alamat dan data ditransmisikan antara *start* dan *stop*. Sinyal R/W adalah sinyal penggerak dari *master* dan merupakan bit yang memberitahu *slave* apakah harus membaca atau menulis data, sedangkan nilai ACK merupakan sinyal bahwa *slave* menanggapi *master* dengan mengatakan bahwa ia menerima semua 8 bit pertama dengan baik. Oleh karena itu, ACK mengarahkan jalur SDA ke *slave*. Pada kondisi ini, *slave* “menarik” SDA menjadi *low* selama satu sinyal *clock*. ACK dapat dilihat pada gambar (2.16), dimana pengiriman sinyal ini menandakan bahwa *slave* telah menerima 1 *byte* data.

2.2.12 Arduino Nano

Arduino Nano merupakan suatu papan sirkuit yang berukuran kecil yang didalamnya telah tersedia mikrokontroler, dan dirancang untuk memudahkan pengguna elektronik dalam berbagai bidang. Arduino Nano memiliki pin yang lengkap serta minimalis dengan berbasis mikrokontroler ATmega328 untuk Arduino Nano versi 3.0, dan dihubungkan ke komputer menggunakan *port* USB Mini-B. Arduino Nano dapat diberikan daya melalui koneksi USB Mini-B, dengan catu daya eksternal 6-20V yang tidak teregulasi, atau dengan catu daya eksternal yang teregulasi 5V. Sumber daya secara otomatis dipilih ke sumber tegangan tertinggi. ATmega328 memiliki 32 KB *flash memory* untuk menyimpan kode, dimana 2 KB untuk *bootloader*. Arduino Nano mampu berkomunikasi dengan komputer, Arduino lainnya, ataupun mikrokontroler lainnya [36].



Gambar 2.21 Arduino Nano[36]



Gambar 2.22 Board Arduino Nano[36]

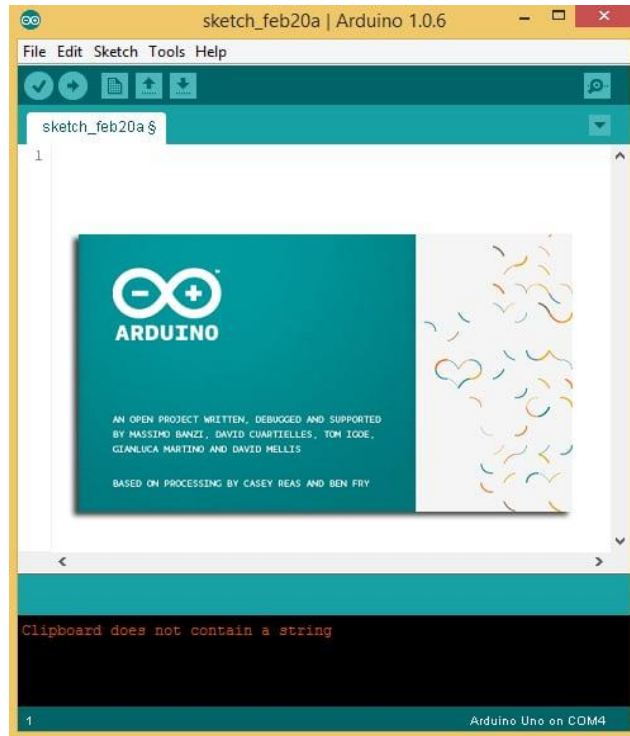
Tabel 2.4 Spesifikasi Arduino Nano

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan Operasi	5 V
Tegangan <i>Input (recommended)</i>	7-12 V
Tegangan <i>Input (limits)</i>	6-20 V
Pin I/O Digital	14 (6 diantaranya keluaran PWM)
Pin masukan Analog	8
Arus DC per pin I/O	40 mA
Flash Memory	32 KB (dimana 2 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan <i>Clock</i>	16 MHz
Ukuran	0.73" x 1.70"

Arduino Nano ini memiliki pin PWM, yaitu pin yang memungkinkan untuk menggunakan fitur PWM (*Pulse Width Modulation*). Pin yang termasuk PWM pada Arduino Nano yaitu pin D3, D5, D6, D9, dan D11 yang ditandai dengan adanya

tanda titik (.) atau tanda hubung (-). Selain itu arduino Nano juga memiliki dua pin yang memiliki fungsi khusus yang memungkinkan terjadinya komunikasi I2C yaitu pin SDA (*Serial Data*) yang berfungsi untuk mentranslasikan data, guna mendukung komunikasi I2C. pin yang termasuk pin SDA adalah pin analog 4 (A4). Pin kedua merupakan pin SCL (*Serial Clock*) yang berfungsi untuk menghantarkan sinyal *clock* guna memungkinkan terjadinya komunikasi I2C. Pin yang termasuk pin SCL adalah pin analog 5 (A5).

Controller inilah yang menjadi komponen penting pada perangkat *artificial lighting* pada penelitian ini. Arduino Nano disini berperan dalam menerima pembacaan cahaya dari sensor yang kemudian mengontrol intensitas LED RGB nantinya [9]. Arduino Nano diprogram menggunakan Arduino IDE. Arduino IDE adalah *software* yang sangat canggih yang ditulis menggunakan C++. Pada Arduino IDE terdapat jendela *editor program* yang memungkinkan pengguna dalam menulis dan mengedit program dalam Bahasa pemrograman. Kemudian jendela *compiler*, yang dapat mengubah kode program menjadi kode biner. Sebuah mikrokontroler tidak akan bisa memahami Bahasa pemrograman, yang dapat dipahami oleh mikro kendali adalah kode biner. Kemudian jendela *uploader*, yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori di dalam papan Arduino [26].



Gambar 2.23 Arduino IDE[26]

2.2.13 Fuzzy Logic

Penelitian ini menggunakan metode pengambilan keputusan logika *Fuzzy*. Metode logika *Fuzzy* merupakan cara untuk memetakan ruang masukan ke dalam ruang keluaran. *Fuzzy* digunakan dalam menggambarkan rasa ambiguitas, ketidaktepatan, atau ketidakjelasan yang sering dikaitkan dengan konsep manusia. *Fuzzy* menangkap dan merepresentasikan ketidakjelasan dan ketidakpastian dalam pemikiran sehari-hari dengan sedemikian rupa sehingga sistem pembelajaran dapat memahami dan bekerja dengan baik. Logika *Fuzzy* digunakan pada sebagian besar permasalahan yang terjadi di dunia nyata. Permasalahan tersebut kebanyakan bukan biner dan bersifat non linier sehingga logika *Fuzzy* cocok digunakan karena menggunakan nilai linguistik yang tidak linier.

Penggunaan fungsi keanggotaan memungkinkan logika *Fuzzy* untuk melakukan observasi objektif terhadap nilai-nilai yang bersifat subjektif. *Fuzzy* dapat mewakili pernyataan yang sepenuhnya “benar” atau “salah”, dan dapat juga mewakili yang “sebagian benar” dan/atau “sebagian salah”. Penggunaan fungsi keanggotaan memungkinkan logika *Fuzzy* untuk melakukan observasi objektif terhadap nilai-nilai yang bersifat subjektif [37]. Dalam logika *Fuzzy* seberapa besar kebenaran dan kesalahan suatu nilai tergantung pada bobot keanggotaan yang

dimiliki, dengan logika *Fuzzy* maka antara bahasa manusia dan bahasa mesin dapat dijembatani, sehingga menjadi lebih efektif dan efisien antara bahasa manusia dan bahasa mesin[38].

2.2.13.1 Himpunan *Fuzzy*

Hal yang dimaksud dengan himpunan *fuzzy* yaitu suatu kelompok atau himpunan yang termasuk kedalam suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Ada batasan tegas diantara unsur-unsur yang bukan anggota dari himpunan tersebut jelas antara elemen yang bukan anggota himpunan. Himpunan *fuzzy* merupakan himpunan pembatasan keanggotaan, tetapi tidak dapat ditentukan dengan memenuhi persyaratan keanggotaan. Dalam mengatasi masalah ini, Lotfi Aske mengasosiasikan himpunan tersebut dengan fungsi yang mewakili kebugaran elemen di alam semesta, dan konsep yang berfungsi sebagai pembatasan keanggotaan dalam himpunan. Fungsi ini disebut fungsi keanggotaan, dan nilai dari fungsi tersebut disebut derajat keanggotaan suatu elemen dalam himpunan yang selanjutnya disebut himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* adalah rentang nilai, dan setiap nilai memiliki keanggotaan antara 0 dan 1 [39], [40]. Himpunan *fuzzy* A diwakili oleh manfaat keanggotaan dalam interval [0,1] dalam domain global sesi X, yang dapat dinyatakan sebagai :

$$\mu_A = X \rightarrow [0,1]$$

Himpunan *fuzzy* akan mewakili suatu keadaan atau situasi yang telah ditentukan dalam bilangan variabel *fuzzy*. Misal, jika himpunan *fuzzy* dalam semesta X dapat direpresentasikan sebagai himpunan pasangan terurut, yang didefinisikan sebagai :

$$A = \{ (x, \mu_{A_k}(x)) | x \in X \}$$

Dimana A(x) adalah fungsi keanggotaan yang memetakan x anggota himpunan semesta x ke interval tertutup [0,1]. Nilai A(x) adalah nilai fungsi keanggotaan dari x, disebut juga derajat keanggotaan yang mana himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut, yaitu :

1. *Linguistik*, yaitu penamaan suatu kelompok yang mewakili suatu keadaan menggunakan bahasa alami, seperti : Muda, Parobaya, Tua.

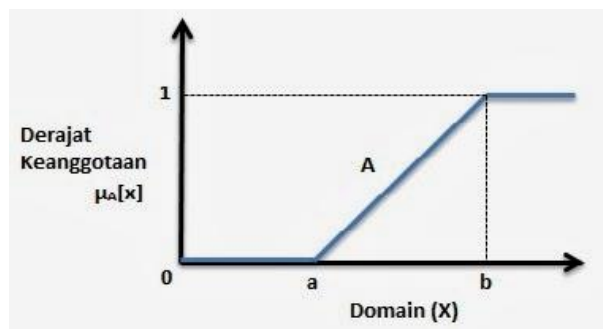
2. *Numeris*, yaitu suatu nilai (angka) yang memberitahukan berukuran menurut suatu variabel seperti : 25, 40, 50, dan sebagainya.

2.2.13.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan (*membership function*) merupakan suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut derajat keanggotaan) yang memiliki nilai interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui metode fungsional. Adapun beberapa fungsi yang bisa digunakan seperti representasi Linier, segitiga, trapesium, Gauss, Kurva-S, *Bell Curve*.

1. Representasi Linear

Dalam representasi linier, peta masukan keanggotaannya yang akan direpresentasikan sebagai garis lurus. Gabungan *fuzzy* linier memiliki 2 keadaan, yaitu Representasi Linear Naik yang diawali dengan nilai domain dengan derajat keanggotaannya 0 dan akan langsung menuju nilai domain dengan derajat keanggotaannya yang lebih tinggi.



Gambar 2.24 Representasi Linear Naik[38]

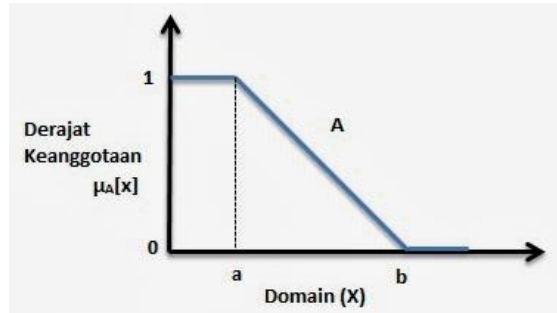
(a,0) dan (b,1) :

$$\begin{aligned} \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 0}{1 - 0} &= \frac{x - a}{b - a} \\ y &= \frac{x - a}{b - a} \end{aligned}$$

Fungsi keanggotaan :

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0; & x < a \\ \left(\frac{x - a}{b - a}\right); & a \leq x \leq b \\ 1; & x > b \end{cases}$$

Representasi Linier Turun merupakan penurunan himpunan yang dimulai dari nilai yang paling domain dengan derajat keanggotaan yang tertinggi pada sisi kiri, bergerak menurun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang paling rendah.



Gambar 2.25 Representasi Linear Turun[38]

(a,1) dan (b,0) :

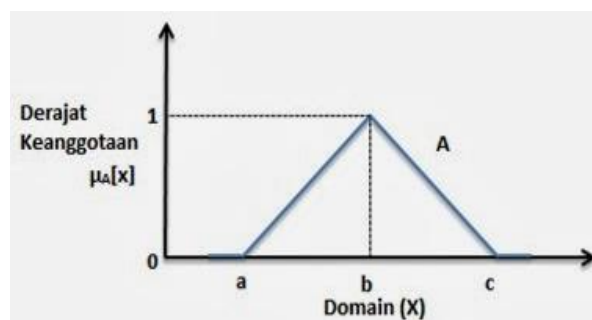
$$\begin{aligned} \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{y - 1}{0 - 1} &= \frac{x - a}{b - a} \\ y - 1 &= \frac{-(x - a)}{b - a} \\ y &= \frac{-x + a + b - a}{b - a} \\ y &= \frac{b - x}{b - a} \end{aligned}$$

Fungsi keanggotaanya :

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 1; & x < a \\ \left(\frac{b-x}{b-a}\right); & a \leq x \leq b \\ 0; & x > b \end{cases}$$

2. Representasi Kurva Segitiga

Representasi ini berupa gabungan antara representasi linear naik dan representasi linear turun.



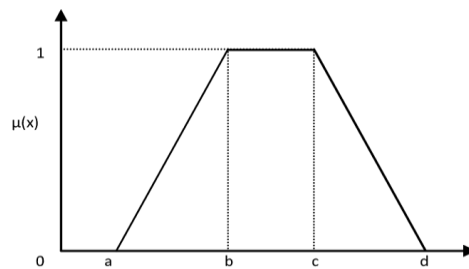
Gambar 2.26 Representasi Kurva segitiga[38]

Fungsi keanggotaannya :

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0; & x < a \text{ atau } x > c \\ \left(\frac{b-x}{b-a}\right); & a \leq x \leq b \\ \left(\frac{c-x}{c-b}\right); & b \leq x \leq c \\ 1; & x = b \end{cases}$$

3. Representasi Kurva Trapesium

Fungsi keanggotaan kurva trapesium terdiri dari beberapa titik yang memiliki derajat keanggotaan sama dengan 1. Fungsi keanggotaan trapesium ($x; a, b, c, d$) dengan $a < b < c < d$.



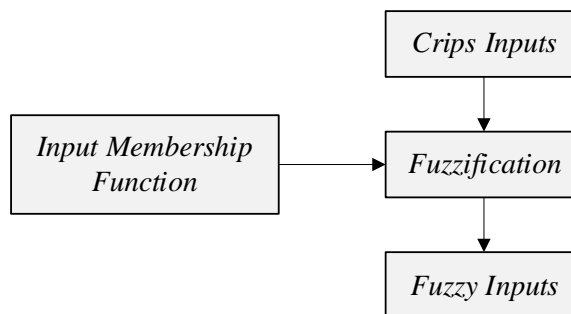
Gambar 2.27 Representasi Kurva Trapesium[41]

Fungsi keanggotaan :

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \left(\frac{x-a}{b-a}\right); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ \left(\frac{d-x}{d-c}\right); & c \leq x \leq d \end{cases}$$

2.2.13.3 Fuzzification

Fuzzification adalah mekanisme untuk memetakan dari ekspresi linguistik dari suatu masalah yang objektif ditransformasikan ke dalam konsep *Fuzzy* yang penggunaannya haruslah memenuhi masukan dan keluaran yang artinya proses mendapatkan derajat keanggotaan dari sebuah nilai *crisp* menjadi himpunan *Fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan.



Gambar 2.28 Diagram Blok Fuzzification

2.2.13.4 Fungsi Implikasi

Tiap aturan dalam basis pengetahuan *fuzzy* akan berhubungan dengan suatu relasi *fuzzy*. Pada logika *Fuzzy* diberikan rule atau aturan yang mudah dipahami, seperti IF-THEN. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah :

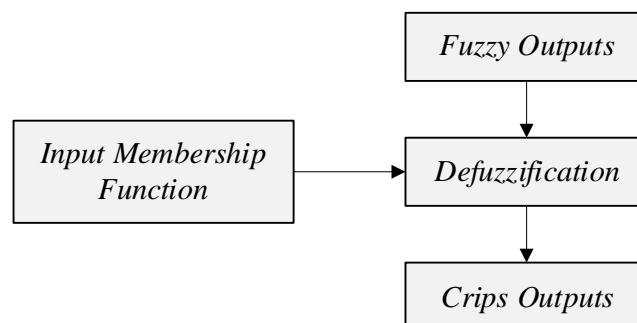
IF x is A THEN y is B

Dimana x dan y adalah skalar. Kemudian A dan B termasuk himpunan *fuzzy*. Kalimat yang mengikuti IF disebut *antecedent* (sebelumnya), dan kalimat yang mengikut THEN disebut *result*. Jika fungsi implikasi memiliki beberapa anteseden, seperti AND, Or, dan NOT untuk mewakili hasil dari beberapa anteseden tersebut. *Inference* merupakan proses mendapatkan aksi keluaran terhadap suatu kondisi *input* menjadi keluaran *Fuzzy* dengan cara mengikuti aturan-aturan (*rule base*) yang telah ditetapkan IF-THEN.

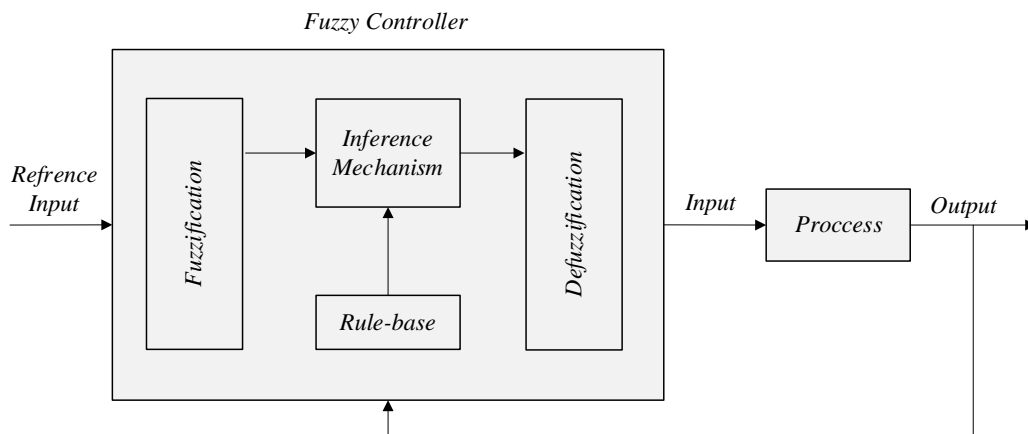
2.2.13.5 Defuzzification

Defuzzification untuk mengubah keluaran *Fuzzy* yang diperoleh dari *inference system* menjadi nilai *crisp* kembali menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan yang dilakukan *Fuzzification* [38]. Metode yang digunakan yaitu Metode *centroid* (titik pusat). Metode *centroid* merupakan suatu metode dengan semua daerah *fuzzy* dari hasil komposisi aturan digabungkan dengan tujuan untuk membentuk hasil yang optimal dan mengambil titik pusat daerah *fuzzy*. Rumus metode *centroid* dinyatakan sebagai berikut :

$$Z^* = \frac{\int_z \mu_A(z)z dz}{\int_z \mu_A(z) dz}$$



Gambar 2.29 Diagram Blok *Defuzzification*

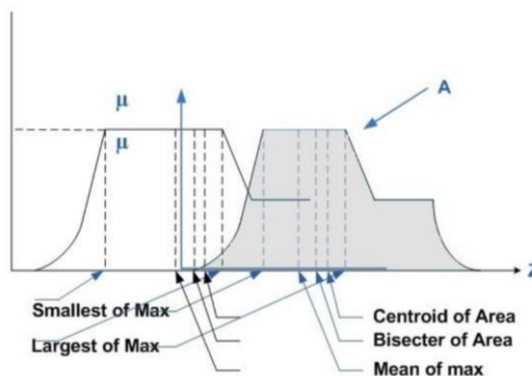


Gambar 2.30 Diagram Blok Fuzzy Logic[39]

Terdapat beberapa metode *Defuzzification* antara lain :

1. *Centroid method* : penyelesaian *crisp* dengan mengambil titik pusat daerah *Fuzzy*. Metode ini merupakan metode paling umum.
2. *Metode bisektor* : penyelesaian *crisp* yang diperoleh dengan mengambil nilai pada domain *Fuzzy* dengan nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *Fuzzy*.
3. *Mean of maximum* : penyelesaian *crisp* yang diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain *Fuzzy* yang memiliki nilai maksimum.
4. *Largest of maximum* : penyelesaian *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar pada domain *Fuzzy* yang memiliki nilai maksimum.

Smallest of maximum : penyelesaian *crisp* yang diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil pada domain *Fuzzy* yang memiliki nilai maksimum.



Gambar 2.31 Metode Defuzzification[38]