

Perancangan Sistem Vertikultur Metode *Nutrient Film Technique* dengan Penyesuaian Arah Gerak Cahaya Matahari Berbasis Mikrokontroler

Ratna Cita Dewi¹, Harlianto Tanudjaja², Joni Fat¹

ABSTRACT: Plant cultivation in verticulture system uses the hydroponic method that is Nutrient Film Technique (NFT). NFT is a method to circulate the nutrition liquid continuously in 24 hours long to help the growth of the plant with a shorter time for the commercial plants. Usually the distribution of sunlight in verticulture system are not equal, it causes for some plants unable to photosynthesis and wither. Designing a moving verticulture system based on the sunlight direction is the main solution to solve the sunlight receiving problem to the plant. This design will include a Light Dependent Resistor (LDR) driver module, motor driver module, microcontroller module, motor movement limit detection module, nutrition liquid level detection module and power supply module. The verticulture system works on receiving sunlight by detecting a sunlight that focused on the LDRs, then processed by the microcontroller to turn on the Direct Current (DC) motor with direction and speed that have been adjust. The examination was done in an open area from morning until night. Sunlight received by the sensor will determine the direction of the verticulture. This design also has a nutrition liquid level detection sensors that connected directly to power supply. The examination was done by detecting the minimum limit from the nutrition liquid availability in the water tank. The purpose of this examination is so that the availability system of nutrition liquid inside the tank is fulfilled. The conclusion from designing a verticulture system with NFT method in receiving sunlight and control of watering nutrition liquid can make the plants grow faster than the conventional plants.

KEYWORDS: verticulture system, NFT method, sunlight.

ABSTRAK: Pembudidayaan tanaman pada sistem vertikultur menggunakan metode hidroponik yaitu *Nutrient Film Technique* (NFT). NFT merupakan metode sirkulasi larutan nutrisi yang dilakukan secara terus-menerus selama 24 jam untuk membantu pertumbuhan pada tanaman dengan waktu tumbuh lebih singkat dari tanaman komersial. Secara umum, pembagian cahaya pada sistem vertikultur tidak merata di setiap tingkatan sehingga mengakibatkan tanaman tidak dapat berfotosintesis dengan baik dan cenderung layu. Perancangan sistem pergerakan vertikultur berdasarkan posisi gerak cahaya matahari adalah solusi utama untuk menyelesaikan permasalahan pencahayaan matahari yang diterima oleh tanaman. Rancangan sistem ini terdiri dari modul *driverLight Dependent Resistor* (LDR), modul motor *driver*, modul mikrokontroler, modul pendekripsi batas gerak motor, modul pendekripsi batas ketinggian larutan nutrisi dan modul catu daya. Cara kerja dari sistem vertikultur untuk penerimaan cahaya matahari dilakukan dengan mendekripsi cahaya yang terfokus pada sensor LDR, kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menghidupkan motor *Direct Current* (DC) dengan arah dan kecepatan yang telah ditentukan. Pengujian sistem vertikultur dilakukan pada ruangan terbuka dengan cahaya matahari pagi hingga malam hari. Cahaya matahari yang diterima oleh sensor mempengaruhi arah gerak vertikultur. Perancangan ini juga terdapat sensor pendekripsi ketinggian larutan nutrisi yang terhubung langsung dengan catu daya. Pengujian dilakukan dengan mendekripsi batas minimum dari ketersediaan larutan nutrisi di dalam tangki. Hal ini dituju agar ketersediaan larutan nutrisi di dalam tangki tercukupi. Kesimpulan yang diperoleh dari perancangan sistem vertikultur metode NFT dalam hal penerimaan cahaya matahari dan pengendalian pengairan larutan nutrisi dapat membuat tanaman tumbuh lebih cepat dari tanaman konvensional.

KATA KUNCI: sistem vertikultur, metode NFT, cahaya matahari.

PENDAHULUAN

Tanaman adalah makhluk hidup yang dapat tumbuh dan berkembang. Tanaman dapat tumbuh dan berkembang jika mendapatkan cahaya matahari yang cukup untuk proses fotosintesis dan pengontrolan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Nutrisi-nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman dapat diperoleh dari tanah yang memiliki mineral atau yang diberikan oleh manusia secara langsung. Nutrisi yang didapat dari tanah belum tentu baik bagi pertumbuhan serta penerimaan cahaya matahari pada tanaman sehingga dibutuhkan teknik untuk mengontrol pertumbuhan dari tanaman.

Teknik vertikultur merupakan salah satu teknik pembudidayaan tanaman yang dapat membantu pertumbuhan tanaman. Vertikultur berasal dari kata *vertical* dan *culture* yang berarti sistem budidaya tanaman yang dilakukan secara *vertical* atau bertingkat, baik *indoor* maupun *outdoor*. Sistem budidaya vertikultur cocok untuk penghijauan di daerah perkotaan maupun daerah yang mempunyai lahan yang terbatas. Teknik vertikultur ini dapat di tempatkan pada perkiran rumah yang cocok untuk pehobi dan pencinta tanaman sehingga vertikultur ini dapat direalisasikan dalam skala rumah tangga.

Penempatan vertikultur ini sangat berguna untuk penanaman yang dilakukan pada ruangan terbuka agar mendapatkan cahaya matahari yang cukup dan merata. Penanaman tumbuhan di ruang terbuka memiliki beberapa kekurangan diantaranya cuaca yang tidak bersahabat bagi tanaman itu sendiri. Akibat faktor dari cuaca yang tidak bersahabat, sistem vertikultur ini dilengkapi dengan atap yang berfungsi untuk melindungi tanaman vertikultur dari hujan.

Teknik vertikultur dapat digabungkan dengan salah satu metode dari hidroponik yaitu metode *Nutrient Film Technique* (NFT). Metode pembudidayaan tanaman NFT menggunakan lapisan nutrisi yang dangkal untuk akar tanaman sehingga mendapatkan air, nutrisi, dan oksigen. Penggunaan kata *film* dari metode NFT menunjukkan nutrisi yang mengalir sangat tipis dengan ketinggian air hanya beberapa milimeter saja (sekitar 3-5 mm) dari dasar talang atau pipa *Polyvinyl Chloride* (PVC), seperti *film negative* foto [1]. Tanaman akan tumbuh

1. Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Teknologi Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara

2. Jurusan Teknik Elektro, Universitas Katholik Indonesia Atmajaya

dengan akar yang terendam dalam air nutrisi dan disirkulasikan secara terus menerus dengan pompa selama 24 jam.

Tanaman memiliki ragam jenis buah-buahan dan sayuran. Penanaman tanaman jenis buah-buahan dengan menggunakan metode NFT terdiri dari tomat, strawberry, ketimun, cabai dll, sedangkan tanaman jenis sayuran terdiri dari selada, sawi, bayam, kangkung, pak-choi dll. Jenis tanaman yang digunakan pada rancangan sistem vertikultur metode NFT adalah jenis tanaman sayuran. Tanaman sayuran yang digunakan adalah tanaman selada. Tanaman selada memiliki akar serabut, daunnya berwarna hijau dan batangnya yang keriting yang merupakan jenis selada keriting hijau. Tanaman selada sangat baik di daerah beriklim tropis dan dapat tumbuh pada dataran rendah mau pun dataran tinggi, sehingga tanaman selada dapat digunakan pada pengaplikasian sistem vertikultur metode NFT.

Perancangan sistem vertikultur dengan metode hidroponik diperoleh dari data melalui survei yang dilakukan di Tarumanagara *Knowledge Centre* (TKC) Universitas Tarumanagara. TKC memiliki dua bentuk vertikultur. Bentuk vertikultur pertama adalah vertikultur rak dinding yang menggunakan metode NFT. Metode NFT pada vertikultur rak dinding diperlukan saluran masuk larutan nutrisi dan saluran pembuangan. Aliran nutrisi yang dipompa mengalir ke atas menuju tiap talang dan aliran nutrisinya akan mengalir ke bawah dengan gaya gravitasi hingga kembali masuk ke dalam tangki air. Vertikultur ini di tempatkan di dalam ruangan tertutup (*indoor*), sehingga memerlukan cahaya tambahan berupa lampu *Light Emitting Diode* (LED) sebagai pengganti sinar matahari. Bentuk vertikultur yang kedua adalah vertikultur pipa atau dapat disebut sebagai *tower* dengan menggunakan metode sistem air mancur, di mana larutan nutrisi dipompa mengalir ke atas melalui pipa kecil di tengah pipa PVC besar ke tempat penampungan air sementara. Tempat penampungan sementara ini terdapat empat buah lubang kecil untuk menjatuhkan nutrisinya ke bawah pada pipa PVC yang besar sehingga menyerupai butiran-butiran air nutrisi yang berjatuhan dan dapat diserap oleh akar tanaman. Vertikultur ini berada di rumah kaca yang menyebabkan tanaman tidak mendapatkan cahaya secara merata.

Survei kedua berada di pameran flora dan fauna lapangan banteng terdapat berbagai macam bentuk vertikultur dengan menggunakan metode hidroponik yang berbeda. Bentuk vertikultur yang terdapat di lapangan banteng adalah vertikultur segitiga dan *zig-zag*. Bentuk vertikultur pertama adalah vertikultur segitiga menggunakan metode NFT, di mana aliran larutan nutrisi ini dipompa ke bagian talang yang paling atas, lalu aliran tersebut mengalir berputar menuju tangki air dengan saluran pembuangan. Sedangkan bentuk kedua dari vertikultur adalah vertikultur *zig-zag* menggunakan metode NFT dengan sistem kinerja peraliran nutrisinya sama seperti bentuk vertikultur segitiga. Bentuk dari kedua vertikultur tersebut, di tempatkan di luar ruangan (*outdoor*) sehingga vertikultur ini dilengkapi dengan penutup atap untuk melindungi tanaman dari turunnya hujan.

Alat yang dirancang adalah model vertikultur yang disusun menjadi tiga tingkatan dan menggunakan pipa PVC berukuran 4 inci sebagai pot tanaman dengan panjang berukuran 30 cm. Selain itu, tiap pipa dapat menanam dua tanaman yang telah diberi penyangga agar tanaman dapat berdiri dengan tegak atau tidak saling berdekatan. Permukaan bawah di dalam pipa dilapisi *steroform* agar dapat mengukur ketinggian larutan nutrisi. Larutan nutrisi mengalir dari dalam tangki air menuju ketiga pipa pot tanaman, kemudian larutan nutrisi tersebut dikembalikan ke dalam tangki air untuk dialirkan atau digunakan kembali pada ketiga pipa pot tanaman dengan menggunakan pompa air. Aliran nutrisi tersebut menggunakan prinsip hidroponik metode NFT. Masing-masing pot pipa diberi jarak sejauh 20 cm. Pemberian jarak dilakukan untuk mengantisipasi tanaman tumbuh tinggi ke atas. Pembuatan sistem vertikultur dilengkapi dengan atap yang berfungsi melindungi tanaman dari turunnya hujan. Keseluruhan sistem vertikultur dapat direalisasikan pada ruangan terbuka, seperti perkarian rumah atau halaman rumah.

Perancangan ini bertujuan untuk mengotomatisasi sistem vertikultur metode NFT dalam hal penerimaan cahaya matahari dan pengendalian pengairan larutan nutrisi. Perancangan ini merancang modul catu daya, modul *driver LDR*, modul motor *driver*, modul pendekripsi batas gerak motor dan modul pendekripsi ketinggian larutan nutrisi. Sedangkan untuk modul yang tidak dirancang adalah modul pemroses. Spesifikasi pada rancangan ini adalah menggunakan catu daya sebesar 5 V dan 12 V, menggunakan mikrokontroler, menggunakan enam buah sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) dengan *desain* membentuk sudut 45° sampai 135°, menggunakan motor *Direct Current* (DC) *power window* dengan rantai gear motor, pompa air dengan debit 2400 liter per jam dan terdapat *alarm* sebagai indikator pada pencapaian batas minimum larutan nutrisi.

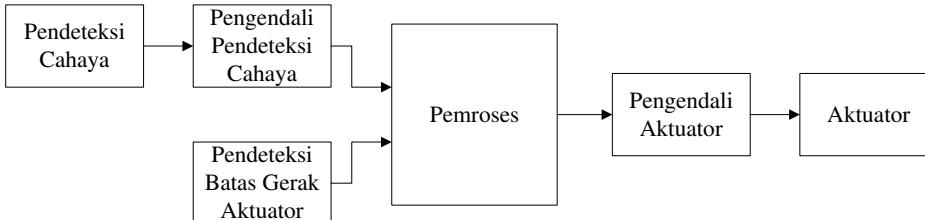
Deskripsi Konsep

Sistem vertikultur mencakup modul pengendali pendekripsi cahaya dan modul pendekripsi batas gerak aktuator sebagai *input*, modul pemroses serta modul pengendali aktuator sebagai *output* dari sistem, dapat dilihat pada Gambar 1. Modul pendekripsi cahaya terdiri dari enam buah modul yang dipasang membentuk sudut 45° sampai 135°. Modul ini dapat bekerja berdasarkan pembacaan kondisi cahaya terang dan gelap. Modul tersebut memberikan informasi ke modul pemroses untuk menggerakkan modul aktuator vertikultur dan mengarahkan vertikultur ke arah cahaya matahari. Pada modul aktuator vertikultur berfungsi untuk menggerakkan vertikultur yang dikendalikan oleh modul pengendali aktuator vertikultur. Modul pengendali aktuator vertikultur akan menerima informasi dari modul pemroses sehingga modul aktuator dapat bergerak mengikuti cahaya matahari yang terfokus dengan mengatur kecepatan gerak aktuator dari modul pendekripsi cahaya. Selain itu, terdapat modul

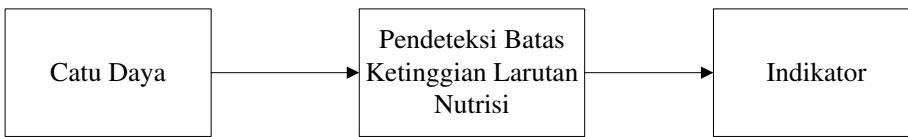
pendekksi batas aktuator sebagai pembatas minimum dan maksimum gerak modul aktuator. Modul pendekksi batas aktuator memberikan informasi berupa logika *high* dan *low* kepada modul pemroses.

Pembatasan penggunaan larutan nutrisi dilakukan pada modul pendekksi batas ketinggian larutan nutrisi dengan batas ketinggian tertentu. Pengaturan modul pendekksi batas ketinggian larutan nutrisi menggunakan sistem *on/off* yang terhubung dengan modul catu daya. Modul catu daya memberikan tegangan ke modul pendekksi batas ketinggian larutan nutrisi untuk menghidupkan indikator. Informasi yang diterima merupakan tanda peringatan bagi pengguna untuk melakukan pengisian ulang larutan nutrisi secara manual. Modul indikator akan hidup apabila modul pendekksi batas ketinggian larutan nutrisi dalam keadaan *on* dan modul ini akan berhenti apabila modul pendekksi batas ketinggian larutan nutrisi dalam keadaan *off* atau jika sudah melakukan pengisian ulang. Diagram blok pendekksi ketinggian larutan nutrisi dapat dilihat pada Gambar 2.

Diagram Blok



■ **Gambar 1.** Diagram Blok Pergerakan Sistem Vertikultur



■ **Gambar 2.** Diagram Blok Pendekksi Ketinggian Larutan Nutrisi

Metode Nutrient Film Technique (NFT)

Metode NFT adalah salah satu pembudidayaan tanaman hidroponik yang paling popular dalam bidang pekebunan komersial. Pembudidayaan tanaman metode NFT membutuhkan larutan nutrisi yang mengalir secara terus-menerus selama 24 jam. Tanaman membutuhkan lapisan nutrisi yang mengalir sangat tipis setinggi 3-5 mm dari dasar permukaan saluran. Tinggi nutrisi yang diperlukan seperti tampak film negatif foto. Pembuatan aliran larutan nutrisi yang dilewatkan dalam saluran berupa talang air atau pipa diletakkan dengan kemiringan tertentu. Kemiringan talang yang disarankan sekitar 1,5 - 5° [2]. Kemiringan tersebut membuat larutan nutrisi mengalir ke posisi yang lebih rendah. Cara kerja metode NFT dapat dilihat pada Gambar 3.

Lubang tanam dibuat dengan menyesuaikan jenis tanaman yang ditanam sebagai tempat bertumbuhnya tanaman. Jarak antar lubang dibedakan menjadi dua jenis pertumbuhan tanaman yaitu tanaman yang tumbuh ke atas seperti kangkung memerlukan jarak sekitar 5 cm dan tanaman tumbuh yang merekah seperti selada memerlukan jarak sekitar 15 cm. Talang atau pipa PVC dapat disusun sejajar membentuk meja yang rata, bertingkat kemudian di tempatkan merapat di satu sisi dinding, bertingkat ke atas dalam rak, atau bertingkat dengan rangka segitiga sama kaki. Berbagai bentuk pilihan dapat disesuaikan dengan luasan lahan.

Teknik NFT dapat dilakukan di lahan terbuka dan *greenhouse* atau *nethouse*. Penanaman hidroponik menggunakan metode NFT di lahan terbuka membutuhkan investasi yang lebih rendah dibandingkan menggunakan *greenhouse*. Hal ini menyebabkan pekebun lebih berhati-hati akan serangan hama dan penyakit yang muncul serta intensitas hujan yang berlebih pun mengubah kandungan nutrisi. Pembangunan rumah tanam menggunakan *greenhouse* membutuhkan investasi yang tinggi, karena terdapat penggunaan atap untuk tanaman lebih terlindungi dari serangan hama, penyakit dan hujan.



■ Gambar 3. Cara Kerja Metode NFT [2]

Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah suatu sistem komputer yang berfungsi sebagai pusat untuk mengolah data dan memproses seluruh perintah dari sebuah sistem. Fungsi utama mikrokontroler adalah untuk mengontrol operasi sebuah sistem yang menggunakan program tetap dan disimpan dalam *Read Only Memory* (ROM), karena data pada ROM bersifat permanen [2]. Pada umumnya, *desain* pada sistem mikrokontroler memiliki CPU dan dilengkapi dengan fitur-fitur lainnya yaitu RAM, ROM, Port I/O, timer dan serial I/O.

Arsitektur pada mikrokontroler berdasarkan *desain* CPU dan set instruksi yaitu *Complex Instruction Set Computers* (CISC) dan *Reduced Instruction Set Computers* (RISC). CISC adalah arsitektur komputer dengan kumpulan instruksi yang kompleks atau rumit. RISC adalah arsitektur komputer dengan kumpulan instruksi yang sederhana. Karakteristik instruksi yang dieksekusi pada arsitektur CISC membutuhkan waktu pemrosesan data cukup lama. Namun berbeda halnya dengan arsitektur RISC, waktu yang dibutuhkan untuk pemroses data lebih cepat karena instruksi yang digunakan lebih sederhana. Contoh arsitektur komputer berbasis CISC dari mikrokontroler adalah CPU AMD dan Intelx86 sedangkan contoh dari mikrokontroler arsitektur komputer berbasis RISC adalah ARM dan AVR.

Sistem vertikultur metode NFT menggunakan mikrokontroler AVR dengan arsitektur komputer berupa RISC. Kelompok AVR dibagi menjadi empat grup yaitu ATMega, ATTiny, AVR klasik dengan tiga tipe *series* AT90Sxx dan *Special Purpose* AVR yang terdiri dari tiga tipe *series* AT90xx dan ATMega169. Fitur-fitur yang dimiliki pada mikrokontroler AVR adalah EEPROM, PORT I/O, Analog to Digital Converter (ADC), Pulse Width Modulation (PWM), timer, counter dan berbagai macam komunikasi serial. Pemrograman yang digunakan pada mikrokontroler AVR dibagi menjadi dua bahasa yaitu bahasa tingkat rendah (*low level language*) seperti bahasa mesin atau (*machine assembly*) atau bahasa tingkat tinggi (*high level language*) seperti C/C++. Sistem vertikultur menggunakan mikrokontroler AVR tipe ATMega dengan bahasa pemrograman C.

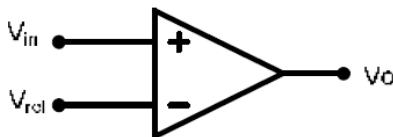
Light Dependent Resistor (LDR)

LDR merupakan komponen elektronika jenis resistor yang dipengaruhi oleh rangsangan terhadap cahaya. LDR adalah sebuah tipe sensor resistor dengan nilai resistansi yang diterima tergantung pada intensitas cahaya, sehingga mengalami perubahan pada nilai resistansi. Perubahan resistansi didapat dari banyaknya cahaya yang diperoleh dari LDR. Besar nilai intensitas cahaya yang diterima mempengaruhi nilai resistansi LDR, dengan demikian dapat dideteksi kondisi cahaya yang semakin gelap dan terang. Hal tersebut berkaitan dengan fungsi LDR yaitu dapat menerima sejumlah intensitas cahaya untuk menghantarkan arus listrik dalam kondisi terang dan menghambat arus listrik dalam kondisi gelap.

Operational Amplifier (OP-Amp)

Operational amplifier (Op-Amp) merupakan suatu rangkaian *amplifier* yang dikemas dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC). Konfigurasi Op-Amp memiliki dua konfigurasi dasar yaitu sebagai *inverting amplifier* dan *non-amplifier*. Dari kedua konfigurasi dasar tersebut dapat dikembangkan menjadi rangkaian *filter*, osilator, *buffer*, integrator, penjumlahan dan komparator.

Komparator merupakan salah satu aplikasi dari sebuah rangkaian Op-Amp. Penggunaan Op-Amp sebagai komparator berfungsi untuk merubah sinyal analog menjadi sinyal digital atau untuk merepresentasikan nilai kondisi berupa *high* dan *low* atau dapat +VCC dan -VCC. Simbol komparator pada Op-Amp dapat dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan kaki positif merupakan tegangan *input* sedangkan kaki negatif merupakan tegangan referensi dengan satu terminal *output*.



▪ **Gambar 4.** Simbol Komparator Op-Amp [3]

Hasil *output* yang dihasilkan sangat tergantung pada perbandingan kedua *input* dari Op-Amp yang digunakan, berikut beberapa sifat yang dimiliki oleh komparator:

1. Pada kaki *non-inverting* (+), jika $V_{in} < V_{ref}$ maka $V_o = low$ dan $V_{in} > V_{ref}$ maka $V_o = high$.
2. Begitu pun sebaliknya, pada kaki *inverting* (-), jika $V_{in} < V_{ref}$ maka $V_o = high$ dan $V_{in} > V_{ref}$ maka $V_o = low$.

Motor DC

Motor DC adalah suatu mesin elektrik magnetik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC memiliki dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian yang tidak berputar atau tetap disebut sebagai kumparan medan pada motor. Rotor adalah bagian yang dapat berputar yang disebut sebagai kumparan jangkar. Motor DC dapat berputar ketika diberi suplai tegangan dari catu daya. Arah putaran motor DC tergantung dari pemasangan polaritas kutub dari catu daya dengan motor agar dapat berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam.

Motor Driver

Motor *driver* berfungsi untuk mengatur arah dan kecepatan putaran motor serta mensuplai arus yang cukup pada motor DC. Ditinjau dari penggunaannya, motor *driver* sebagai modul perantara dari mikrokontroler dengan motor DC. Motor *driver* diperlukan karena ketersediaan arus keluaran dari mikrokontroler tidak mencukupi untuk menghidupkan motor DC dengan arus yang dimiliki oleh motor DC. Motor *driver* dapat mengatur arah putaran motor DC dari searah jarum jam menjadi berlawanan arah jarum jam, begitu pun dari arah sebaliknya. Selain itu, motor *driver* diatur kecepatan putaran motor DC dengan cara mengatur PWM untuk mengaktifkan dan menonaktifkan gerak motor DC.

Light Emitting Diode (LED)

Light emitting diode (LED) atau dioda pemancar cahaya adalah suatu perangkat elektronik semikonduktor yang mengubah energi listrik menjadi energi cahaya. Berbagai banyak macam warna LED dipasaran yaitu ada warna putih, merah, hijau, biru dan kuning. Warna yang dihasilkan pada LED tergantung dari bahan semikonduktor dan pada *wavelength* (panjang gelombang).

Saklar

Saklar merupakan alat penyambung dan pemutus aliran arus listrik yang masuk ke dalam suatu rangkaian. Pengoperasian saklar dapat dilakukan dengan *normally open* (NO) dan *normally close* (NC). Prinsip kerja saklar dalam pengoperasian NO adalah kondisi awal posisi saklar dalam keadaan *open*, kemudian ketika saklar ditekan maka akan berubah posisi saklar dalam keadaan *close*. Sedangkan, prinsip kerja saklar dalam pengoperasian NC adalah kondisi awal saklar berada dalam keadaan *close* dan ketika ditekan akan berubah menjadi keadaan *open*.

Buzzer

Buzzer adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk memberi tanda peringatan berupa suara atau dengan kata lain dapat digunakan sebagai *alarm*. *Buzzer* menghasilkan suara atau bunyi dengan satu nada yang berfrekuensi sangat tinggi dan bersifat kontinu. Penggunaan *buzzer* cocok untuk aplikasi pada bel pintu.

Modul Catu Daya

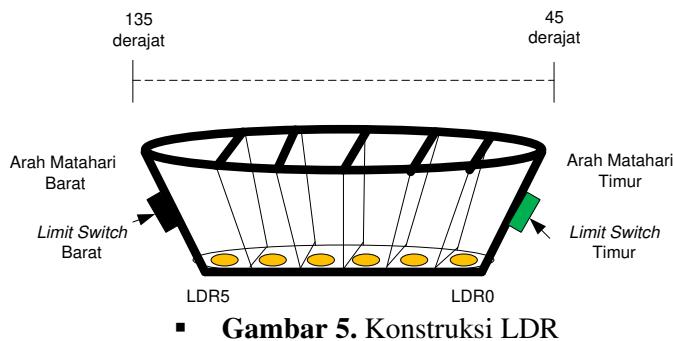
Modul catu daya pada perancangan ini adalah modul yang menghasilkan keluaran tegangan DC [4]. Tegangan DC yang digunakan berupa tegangan sebesar 12 V dan 5 V dengan arus 2 A. Tegangan DC tersebut didapatkan dari tegangan PLN berupa tegangan *Alternative Current* (AC) yang dikonversi ke tegangan DC. Sinyal tegangan keluaran dari transformator masih berupa tegangan AC lalu oleh *diode bridge* tersebut diubah menjadi tegangan DC. Sinyal pada tegangan DC secara terus-menerus mengisi muatan kapasitor hingga mencapai tegangan puncak. Tegangan pada kapasitor jatuh dari level puncak, kemudian tegangan dikembalikan ke level puncak sinyal berikutnya sehingga menghasilkan gelombang riak (*ripple*). Gelombang tersebut distabilkan dengan menggunakan IC regulator. IC regulator yang digunakan adalah LM7805 untuk menstabilkan sinyal tegangan keluaran DC menjadi 5 V dan LM7812 untuk menstabilkan sinyal tegangan DC menjadi 12 V. Tegangan 5 V dan 12 V dirangkai secara paralel agar modul-modul yang dirancang mendapat tegangan sesuai kebutuhan. Kebutuhan catu daya 5 V

diperlukan untuk mengaktifkan modul mikrokontroler, modul *driver LDR*, modul pendekripsi batas gerak motor dan modul pendekripsi ketinggian larutan nutrisi, sedangkan catu daya 12 V hanya mengaktifkan motor DC. Catu daya 5 V dan 12 V diberi LED dengan warna yang berbeda. Warna LED yang digunakan pada catu daya 5 V adalah LED warna merah sedangkan pada catu daya 12 V adalah LED warna putih. LED tersebut berfungsi sebagai indikator untuk membedakan catu daya 5 V dengan catu daya 12 V. Selain itu, modul catu daya menggunakan *heatsink* sebagai pendingin untuk regulator LM7805 dan LM7812.

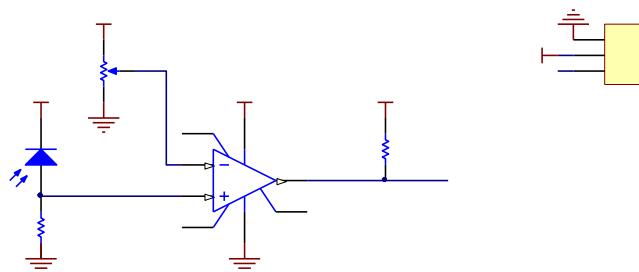
Modul Driver LDR

Konstruksi pendekripsi cahaya berupa LDR seperti pada Gambar 5, didesain dengan membentuk format sudut 45° sampai 135° . LDR yang digunakan terdiri dari enam buah sensor dan dapat mengikuti arah pergerakan matahari (dari timur ke barat). Tiap LDR diberi sekat dan dilapisi karton hitam untuk mempermudahkan cahaya yang masuk hanya terfokus pada salah satu sensor saja. Perancangan modul *driver LDR* dirancang berdasarkan pengukuran tegangan *output* dari tegangan referensi untuk menentukan atau membedakan kondisi cahaya gelap dan terang, seperti pada Tabel 1. Perbedaan nilai tegangan *output* dari kedua kondisi tersebut didapat nilai tegangan referensi. Tegangan referensi digunakan sebagai nilai pembanding yang mengindikasikan kondisi dari cahaya matahari.

Skematik modul *driver LDR* terdiri dari *voltage divider* dan komparator Op-Amp, seperti pada Gambar 6. Konsep *voltage divider* dapat digunakan untuk menghitung tegangan dari LDR pada kaki positif atau disebut sebagai tegangan *input* (V_{in}). V_{in} dibandingkan dengan tegangan dari komparator Op-Amp pada kaki negatif atau disebut sebagai tegangan referensi (V_{ref}). Jika V_{in} lebih besar dari V_{ref} maka tegangan *output* (V_{out}) dari modul *driver LDR* menghasilkan sinyal *high*. Sinyal *high* yang dihasilkan akan sama dengan V_+ (V_{CC}). Sebaliknya, jika V_{in} lebih besar dari V_{ref} maka V_{out} dari modul *driver LDR* menghasilkan sinyal *low*. Sinyal *low* yang dihasilkan akan sama dengan V_- (*ground*).



▪ **Gambar 5.** Konstruksi LDR



▪ **Gambar 6.** Skematik Modul *Driver LDR*

▪ **Tabel 1.** Perkiraan Pembacaan LDR

Kondisi Cahaya	Tegangan (Volt)
Gelap	Tegangan <i>output</i> < tegangan referensi
Terang	Tegangan <i>output</i> > tegangan referensi

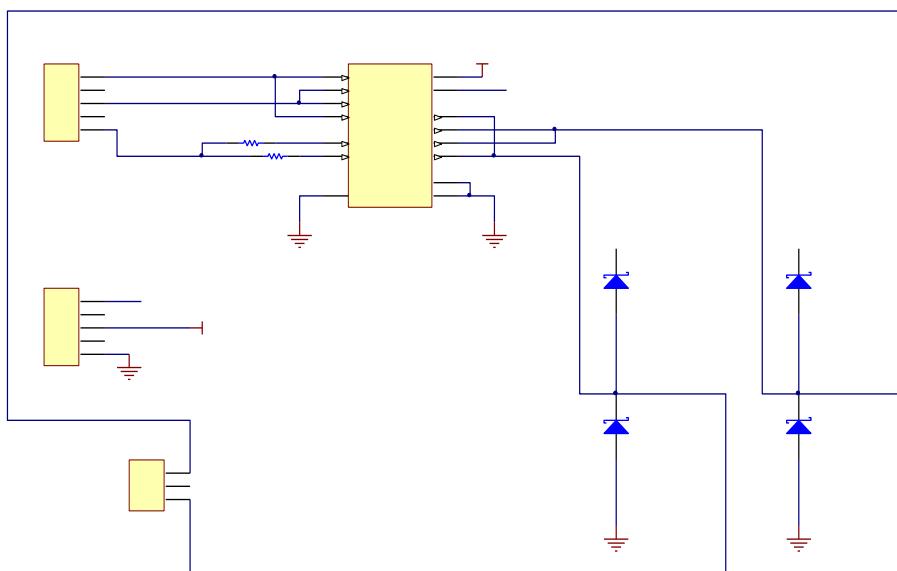
Modul Motor Driver

Konstruksi pada motor DC seperti pada Gambar 7, dibentuk menyerupai rantai sepeda yang terdiri dari *gear* besar, *gear* kecil dan rantai motor. Motor DC dipasangkan *gear* kecil untuk mengatur besar atau kecilnya laju putaran motor dan terdapat juga *gear* besar yang terpasang langsung pada sistem vertikultur. *Gear-gear* yang telah dipasang dapat dihubungkan menggunakan rantai motor agar *gear* besar dapat menyesuaikan arah dan kecepatan gerak dari *gear* kecil pada motor DC yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Kecepatan gerak motor DC diatur berdasarkan posisi LDR untuk dapat mengetahui keberadaan sudut yang dituju, seperti pada Tabel 2. Referensi sudut dapat dilihat pada Gambar 5, di mana posisi LDR0 sampai LDR5 merupakan arah pergerakan dari matahari.

Skematik modul motor *driver* dapat dilihat pada Gambar 8. Realisasi modul motor *driver* dilakukan untuk mengatur arah dan kecepatan gerakkan pada vertikultur agar dapat berputar searah dan berlawanan arah jarum jam berdasarkan PWM dari mikrokontroler. *Output* dari mikrokontroler terhubung dengan *input* 1,4 dan *input* 2,3 pada IC LM289 untuk mengatur arah gerak motor. LM289 memiliki pin *enable* a dan b untuk mengaktifkan motor dan mengatur kecepatannya. Pin *input* dan *enable* diatur oleh sinyal dari mikrokontroler untuk mengatur arah gerak putaran berserta PWM pada motor agar gerakkan motor terkendali. Rangkaian motor *driver* membutuhkan tegangan masukan sebesar 12 V untuk motor DC dan 5 V untuk *input* PWM dari mikrokontroler. Mikrokontroler menerima setiap *input* dari LDR sehingga motor DC dapat diatur PWM berdasarkan pada arah pergerakkan matahari (dari timur ke barat) dengan panjang vertikultur. Motor dapat bergerak dan berhenti pada posisi sudut yang telah ditentukan.



▪ Gambar 7. Konstruksi Motor DC



▪ Gambar 8. Skematik Modul Motor *Driver*

▪ **Tabel 2.** Menentukan Sudut Tujuan Vertikultur dari Posisi LDR

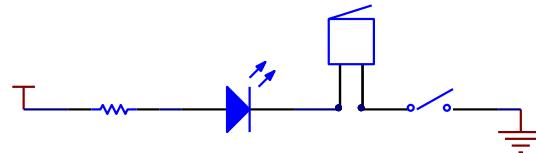
Posisi Vertikultur dan Pembacaan LDR	Sudut Tujuan (°)
--------------------------------------	------------------

Vertikultur	90
LDR0	105
LDR1	120
LDR2	135
LDR3	45
LDR4	60
LDR5	75

Modul Pendeksi Ketinggian Larutan Nutrisi

Vertikultur yang dirancang menggunakan satu buah *limit switch* dengan seutas tali yang diberi beban sebagai pendeksi batas minimum pada persediaan larutan nutrisi. Beban yang digunakan adalah balok kayu kecil

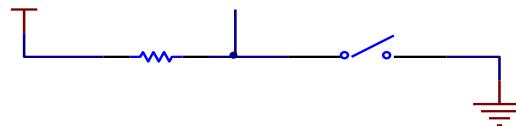
karena tidak terlalu berat dan dapat terapung di atas air. Beban pada *limit switch* bermula dari keadaan *off* dan dapat bekerja apabila larutan nutrisi di dalam tangki air telah melampaui batas minimum, maka balok kayu kecil menekan *limit switch* sehingga keadaan menjadi *on*. Selain itu, modul ini dilengkapi dengan indikator berupa LED dan *buzzer* yang berfungsi untuk memberi informasi bahwa larutan nutrisi di dalam tangki air sudah mencapai batas pengisian larutan nutrisi berikutnya. LED dan *buzzer* menyala ketika *limit switch* dalam keadaan *on* atau dapat dikatakan kerja dari rangkaian ini adalah *normally open*. Rangkaian yang sebelumnya telah dirancang menjadi *normally open* dapat terhubung langsung dengan *power supply*. Skematik modul pendeteksi ketinggian larutan nutrisi dapat dilihat pada Gambar 9.



▪ **Gambar 9.** Skematik Modul Pendeksi Ketinggian Larutan Nutrisi

Modul Pendeksi Batas Gerak Motor

Realisasi modul pendeksi batas gerak motor dilakukan dengan menggunakan *limit switch*. Penggunaan *limit switch* pada modul ini, membutuhkan dua buah *limit switch* sebagai batas minimum dan maksimum gerak pada motor. Letak kedua *limit switch* ini dapat dilihat pada Gambar 5. *Limit switch* dirancang menjadi rangkaian *pull up*, sehingga dengan mudah diolah pada mikrokontroler sebagai *on/off* secara otomatis menjadi *normally open*. Modul ini bekerja ketika motor bergerak menekan *limit switch* (mengenai batas minimum atau batas maksimum) agar motor dapat bergerak dengan otomatis. Skematik modul pendeksi batas gerak motor dapat dilihat pada Gambar 10.



▪ **Gambar 10.** Skematik Modul Pendeksi Batas Gerak Motor

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian modul *driver LDR* dilakukan dengan menggunakan multimeter digital untuk mengukur nilai referensi pada Op-Amp dan *voltage divider* dari LDR. Pengujian pengukuran *voltage divider* dari LDR dilakukan dengan memutar trimpot pada dua kondisi yaitu pada saat terang dan gelap. Pengujian ini dilakukan pada kondisi terang dan gelap dengan menghubungkan kabel positif multimeter ke kaki 3 IC LM741 dan kabel negatif pada multimeter dihubungkan ke *ground*. Selanjutnya, pengujian pengukuran tegangan referensi dilakukan dengan memutarkan trimpot dengan kabel positif multimeter dihubungkan ke kaki 2 IC LM741 dan kabel negatif dihubungkan ke *ground*. Pengukuran tegangan referensi didapat dari hasil pengujian *voltage divider* LDR dalam keadaan terang dan gelap yang dibagi dua, seperti pada Tabel 3. Berdasarkan hasil pengujian modul *driver LDR* dapat beroperasi dengan baik, sehingga modul ini dapat mengindikasikan kondisi dari cahaya matahari.

▪ **Tabel 3.** Hasil Pengujian Modul *Driver LDR*

LDR	Tegangan Referensi (Volt)	Tegangan dalam Kondisi Gelap (Volt)	Tegangan dalam Kondisi Terang (Volt)
LDR0	3,174	1,924	5,01
LDR1	3,183	1,900	5,01
LDR2	3,188	1,901	5,01
LDR3	3,192	1,911	5,01
LDR4	3,172	1,909	5,01
LDR5	3,165	1,913	5,01

Pengujian modul motor *driver* dilakukan dengan menyambungkan VCC dan *ground* pada *input 1* dan *input 2*. *Enable* pada modul *driver* motor terhubung VCC yang bertujuan untuk mengaktifkan motor. Hasil pengujian menunjukkan logika “00” dan “11” motor tidak bergerak atau dalam posisi diam dan motor berhenti bergerak, jika diberi logika “01” maka motor bergerak berlawanan arah jarum jam sedangkan logika “10” motor

dapat bergerak searah jarum jam. Berdasarkan hasil pengujian seperti pada Tabel 4, motor dapat bergerak searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Pengujian PWM motor dilakukan dengan membuat program sederhana seperti pada Gambar 11, motor bergerak berlawanan arah jarum jam dengan setengah kecepatan maksimal dari motor. Berdasarkan hasil pengujian program sederhana, motor dapat diatur arah dan PWM dari mikrokontroler.

```

01 //Program uji PWM
02 #include <mega16.h>
03 Void main ()
04 {
05     PORTB = 0x00;
06     DDRB = 0x08;
07     TCCR0 = 0x69;
08     TCNT0 = 0x00;
09     OCR0 = 0x00;
10    While (1)
11    {
12        PORTB.0 = 0;
13        PORTB.1 = 1;
14        OCR0 = 127;
15    }
16 }
```

▪ **Gambar 11.** Pengujian PWM

▪ **Tabel 4.** Hasil Pengujian Modul Motor Driver

<i>Input 1</i>	<i>Input 2</i>	<i>Enable</i>	Arah
0	0	<i>High</i>	Diam
0	1	<i>High</i>	CCW
1	0	<i>High</i>	CW
1	1	<i>High</i>	Diam

Pengujian mikrokontroler dilakukan dengan membuat contoh program sederhana untuk menghidupkan atau mematikan LED dengan *delay* 1 detik, seperti pada Gambar 12. Pada nomor 11 dan 12 berfungsi untuk mengeluarkan tegangan selama 1000 ms atau sama dengan 1 detik. Sedangkan, pada nomor 13 dan 14 berfungsi untuk menghentikan keluaran tegangan atau tidak ada tegangan selama 1000 ms atau sama dengan 1 detik. Hasil pengujian modul mikrokontroler adalah barisan LED menyala kedap-kedip secara bersamaan. Hal ini berarti, semua *PORT* yang digunakan menghasilkan logika “0” dan “1” secara bergantian. Jumlah LED yang digunakan sebanyak 8 buah yang merepresentasikan penggunaan 8 bit. Program sederhana ini menunjukkan mikrokontroler dapat berjalan dengan baik sehingga mikrokontroler dapat digunakan sebagai pengolah data dan pengendali jalannya seluruh sistem.

```

01 #include <mega16.h>
02 #include <delay.h>
03
04 Void main (void)
05 {
06     DDRD = 0xFF;
07     PORTD = 0xFF;
08
09     While (1)
10    {
11        PORTD = 0xFF;
12        delay_ms (1000);
13        PORTD = 0x00;
14        delay_ms (1000);
15    }
16 }
```

▪ **Gambar 12.** Pengujian Mikrokontroler

Rangkaian modul pendekripsi batas gerak motor dilakukan pengujian dengan mengukur tegangan dalam keadaan *on/off*. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan multimeter digital dalam kondisi ditekan dan tidak ditekan pada *limit switch*. Hasil pengujian modul pendekripsi batas gerak motor, kedua *limit switch* yang berada pada arah timur dan barat akan aktif atau berlogika “1” apabila diberi tegangan 5 V dari modul catu daya sehingga modul dapat digunakan sebagai pembatas gerak pada motor dan modul ini tidak aktif atau berlogika “0” apabila tidak diberi tegangan. Berdasarkan hasil pengujian modul pendekripsi batas gerak motor dapat berfungsi ketika ditekan atau bekerja secara *normally open*. Hasil pengujian modul pendekripsi batas gerak motor pada *limit switch* yang berada di arah timur dan barat dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Modul Pendekksi Batas Gerak Motor

Posisi Limit switch	Kondisi Limit Switch	Tegangan Output pada Limit Switch (Volt)
Timur	0	0
	1	5,01
Barat	0	0
	1	5,01

Pengujian modul pendekksi ketinggian larutan nutrisi diberi tegangan sebesar 5 V dari rancangan modul catu daya. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan langsung modul pendekksi ketinggian larutan nutrisi dengan modul catu daya tanpa harus terprogram dari mikrokontroler. Hasil pengujian menunjukkan *limit switch* bekerja ketika posisi dalam keadaan ditekan atau berlogika “1” yang dapat menghidupkan LED dan *buzzer*. Sedangkan ketika posisi dalam keadaan tidak ditekan atau berlogika “0” maka LED dan *buzzer* tidak dapat menyala. Modul pendekksi ketinggian larutan nutrisi dapat berjalan sesuai fungsinya untuk mendekripsi *level minimum* larutan nutrisi di dalam tangki. Hasil pengujian modul pendekksi ketinggian larutan nutrisi dapat dilihat pada Tabel 6. Modul ini dirancang agar menghindari kerusakan pada pompa air apabila ketersediaan larutan nutrisi dalam tangki tidak mencukupi.

Tabel 6. Hasil Pengujian Modul Pendekksi Ketinggian Larutan Nutrisi

Tegangan	Kondisi Limit Swicth	LED	Buzzer	Keterangan
5 V	0	Tidak Menyala	Tidak Berbunyi	Mati
	1	Menyala	Berbunyi	Hidup

Pengujian tinggi larutan nutrisi pada pot tanaman merupakan pengujian yang dilakukan untuk metode NFT, karena tinggi lapisan larutan nutrisi yang dianjurkan sekitar ± 3-5 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat ukur mistar untuk mengukur tinggi larutan nutrisi yang dialiri oleh pompa ke pot tanaman. Pengukuran ketinggian larutan nutrisi dilakukan dengan meletakkan mistar memanjang ke atas di dalam pipa yang telah dialiri larutan nutrisi. Pipa tersebut terdapat *sterofoam* sebagai alas bidang lurus untuk mempermudah melakukan pengukur tinggi larutan nutrisi di dalam pipa. Berdasarkan hasil pengujian seperti pada Tabel 7, masing-masing pot tanaman telah memenuhi syarat dari ketentuan larutan nutrisi yang digunakan untuk metode NFT.

Tabel 7. Hasil Pengujian Tinggi Larutan Nutrisi pada Pot Tanaman

Posisi Pot Tanaman	Ketinggian Larutan Nutrisi (mm)
Pot tanaman atas	3
Pot tanaman tengah	3
Pot tanaman bawah	4

Pengujian tanaman selada menggunakan metode NFT dilakukan untuk mengecek pertumbuhan tanaman selada dari pengukuran tinggi tanaman, lebar daun dan warna daun. Pengujian dilakukan selama dua hari dengan cahaya matahari. Pengujian ini menggunakan tiga sampel benih tanaman selada yang berusia dua minggu. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman selada tumbuh minimal 2 mm dalam satu hari. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 8, tanaman selada dapat tumbuh lebih cepat dengan menggunakan metode NFT dan cahaya matahari.

Tabel 8. Hasil Pengujian Pertumbuhan Tanaman Selada

Percobaan	Pengujian	Selada 1	Selada 2	Selada 3
Tinggi tanaman (mm)	Referensi	8.6	8.9	9.2
	Hari pertama	8.9	9.3	9.5
	Hari kedua	9.2	9.5	9.7
Lebar daun (mm)	Referensi	1.2	1.4	1.5
	Hari pertama	1.4	1.6	1.4
	Hari kedua	1.7	1.8	1.7
Warna daun	Referensi	Hijau	Hijau	Hijau
	Hari pertama	Hijau	Hijau	Hijau

Hari kedua	Hijau	Hijau	Hijau
------------	-------	-------	-------

Pengujian modul catu daya dilakukan dengan cara diuji keluaran tegangan tanpa beban dan keseluruhan beban. Pengujian pertama dilakukan dengan menghubungkan modul catu daya tanpa beban. Pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa multimeter digital. Multimeter digital digunakan sebagai voltmeter yang berfungsi untuk mengukur tegangan. Pengujian dilakukan dengan multimeter yang dihubungkan paralel dengan modul catu daya. Hasil dari pengujian modul catu daya tanpa beban memperoleh nilai keluaran tegangan sesuai dengan besaran tegangan *input* dari penggunaan IC regulator yang digunakan, seperti pada Tabel 9. Berdasarkan hasil pengujian modul catu daya tanpa beban dapat berfungsi dan beroperasi dengan baik.

▪ **Tabel 9.** Hasil Pengujian Modul Catu Daya Tanpa Beban

Tegangan <i>Input</i> (Volt)	Tegangan <i>Output</i> (Volt)
5 V	5.01 V
12 V	11.99 V

Pengujian kedua dilakukan dengan menghubungkan modul catu daya pada beban keseluruhan. Pengujian tersebut untuk mengukur tegangan *output* dari beban keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan multimeter yang dihubungkan secara paralel antara modul catu daya dengan beban. Dari hasil pengujian, nilai tegangan keluaran dari *input* 5 V atau 12 V mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa tiap modul mendapat suplai tegangan yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil pengujian modul catu daya pada beban keseluruhan seperti pada Tabel 10, dapat dioperasikan dengan baik untuk mensuplai tegangan ke semua beban.

▪ **Tabel 10.** Hasil Pengujian Modul Catu Daya Beban Keseluruhan

No.	Tegangan <i>Output</i> pada Tegangan 5 V (Volt)	Tegangan <i>Output</i> pada Tegangan 12 V (Volt)
1.	4.81	11.96
2.	4.82	11.95
3.	4.82	11.95
4.	4.81	11.98
5.	4.81	11.95
Rata-rata	4.81	11.96

Pengujian dan Analisis Sistem

Pengujian sistem vertikultur dapat dilakukan pada ruangan terbuka dengan cahaya matahari pagi hingga malam hari. Cahaya yang diterima oleh sensor LDR mempengaruhi perubahan gerak vertikultur tiap jam. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 9 dan Tabel 10, diperoleh sudut dari posisi vertikultur dalam kondisi terang (tiap jam) dan kondisi gelap. Dari pagi hingga malam hari, matahari dalam kondisi terang menunjukkan vertikultur bergerak menghadap cahaya matahari. Vertikultur bergerak dalam kondisi terang berdasarkan arah gerak matahari. Kondisi gelap (malam hari) atau dalam kondisi mendung vertikultur bergerak keposisi semula yaitu ke sudut 90°. Hasil pengujian tersebut menunjukkan sistem vertikultur memenuhi tujuan agar tanaman dapat menerima cahaya matahari secara merata.

Pengujian kedua dilakukan dengan beban yang diikatkan pada *limit switch* sebagai batas minimum larutan nutrisi. Batas minimum yang telah ditentukan dapat mencegah kerusakan pada pompa air akibat dari kekurangan persediaan larutan nutrisi di dalam tangki. Persediaan larutan nutrisi dalam tangki dapat berkurang karena nutrisi yang dialirkan melalui pompa air akan diserap oleh akar tanaman. Pengujian dilakukan apabila persediaan larutan nutrisi masih diatas batas minimum maka beban akan terampung sehingga menunjukkan *limit switch* tidak bekerja atau dalam keadaan *off*. Sedangkan, persediaan larutan nutrisi telah melewati batas yang telah ditentukan maka beban dapat menekan *limit switch* sehingga LED dan *buzzer* akan hidup sebagai indikator informasi. Berdasarkan hasil pengujian seperti pada Tabel 4.11, LED dan *buzzer* akan menyala apabila ketersediaan larutan nutrisi tidak terpenuhi.

▪ **Tabel 11.** Hasil Pengujian Gerak Vertikultur Kondisi Terang

Waktu (WIB)	Arah Gerak	Sudut Posisi Vertikultur (°)	Limit Switch	
			Timur	Barat
08.00	Barat	100	<i>Off</i>	<i>Off</i>
09.00	Barat	105	<i>Off</i>	<i>Off</i>
10.00	Barat	115	<i>Off</i>	<i>Off</i>
11.00	Barat	125	<i>Off</i>	<i>Off</i>

12.00	Barat	135	<i>Off</i>	<i>On</i>
13.00	Barat	135	<i>Off</i>	<i>On</i>
14.00	Timur	45	<i>On</i>	<i>Of</i>
15.00	Timur	45	<i>On</i>	<i>Off</i>
16.00	Timur	58	<i>Off</i>	<i>Off</i>
18.00	Timur	77	<i>Off</i>	<i>Off</i>

Tabel 12. Hasil Pengujian Gerak Vertikultur Kondisi Gelap

Kondisi	Arah Gerak	Sudut Posisi Vertikultur (°)	<i>Limit Switch</i>	
			Timur	Barat
Mendung	Tengah	90	<i>Off</i>	<i>Off</i>

Tabel 13. Hasil Pengujian Ketersediaan Larutan Nutrisi

Batas Ketersediaan Larutan Nutrisi	<i>Limit Switch</i>	LED dan <i>Buzzer</i>
Tidak Terpenuhi	0	Tidak Menyala
Terpenuhi	1	Menyala

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari rancangan sistem vertikultur metode NFT dengan pencahayaan matahari secara merata dapat menghasilkan pertumbuhan tanaman selada dengan rata-rata tumbuh tinggi tanaman 2 mm, lebar daun 2 mm dan daun berwarna hijau. Berdasarkan hasil pengujian pergerakkan sistem vertikultur yang dirancang dapat mengikuti perubahan arah gerak dari matahari dalam kondisi terang dan gelap. Berdasarkan hasil pengujian metode NFT dengan ketinggian lapisan larutan nutrisi dapat bekerja pada ketinggian 3 mm sampai 4 mm. Hasil pengujian sistem dengan metode NFT dapat bekerja dengan spesifikasi dari rancangan. Pada perancangan selanjutnya dapat dilakukan dengan metode hidroponik lainnya, misalnya *Drain Flood Technique* (DFT) dan dapat menggunakan bentuk teknik vertikultur yang berbeda, dapat menggunakan talang air sebagai pengganti pipa PVC serta sensor LDR dapat digunakan sebagai *input* ADC dari mikrokontroler, agar tegangan referensi dapat diatur oleh mikrokontroler.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] My Tribus, *Hidroponik Praktis*. Jakarta : PT Tribus Swadaya, Oktober 2014, p.70, 73.
- [2] Syarul, *Pemrograman Mikrokontroler AVR Bahasa Assembly dan C*, Bandung: Informatika Bandung, 2014, p. 348
- [3] Suraidi, S.T, M.T. dan A. Wendy, S.T, M.M., *Petunjuk Praktikum Elektronika Dasar Universitas Tarumanegara*, Edisi Genap 2008/2009.
- [4] R. Boylestaddan L. Nashelsky, *Electronic Device And Circuit Theory*, 6th ed. New Jersey: Practice-Hall International, INC., 1996.