

Rancang Bangun *Smart Greenhouse* Sebagai Tempat Budidaya Tanaman Menggunakan *Solar Cell* Sebagai Sumber Listrik

Hammada Abbas^{1*}, Rafiuddin Syam², Budi Jaelani³

¹Perum Dosen Unhas Blok A.3, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

²Jln. Perintis Kemerdekaan 10. Makassar, Sulawesi Selatan Indonesia

³Jln. Perintis Kemerdekaan 10. Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

¹prof.hammada@yahoo.com, ²rafiuddinsyam@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat smart greenhouse dengan fungsi sebagai tempat budidaya tanaman menggunakan solar cell sebagai sumber listrik, membuat formulasi kinematika dan dinamika sistem mekanik tempat budidaya tanaman pada smart greenhouse, merancang dan membuat sistem kendali smart greenhouse tersebut pada program berbasis control.

Metode penelitian mengikuti tahapan-tahapan berikut. Tahapan pembuatan greenhouse dimulai dengan mendesain gambar model smart greenhouse dalam dua dimensi dan tiga dimensi. Kemudian tahap pembuatan rangka greenhouse dari kayu, untuk pembuatan rangka rak tanaman menggunakan besi, merakit komponen pembangkit tenaga listrik, membuat sistem kontrol otomatis pada greenhouse, membuat formula pada arduino uno, pengujian suhu dan kelembaban pada greenhouse, membuat kinematika manipulator rak tanaman pada smart greenhouse.

Hasil desain pembuatan smart greenhouse diperoleh dimensi atap dengan panjang 3700 mm dan lebar 3300 mm. Greenhouse berukuran 2700 mm x 2000 mm x 2000 mm. Dimensi rangka rak tanaman 950 mm x 850 mm x 1600 mm dengan dimensi media tanaman pipa paralon 3 inchi dengan panjang 80 mm. Motor DC menggunakan tegangan 12 volt, daya 50 watt dan RPM 39.6. Pompa air menggunakan tegangan AC 220 volt dengan daya 125 watt. Solar Cell yang digunakan adalah solar cell 100 wp dengan pemakaian daya perhari ± 25 watt perhari. Dari kinematika rak tanaman smart greenhouse diperoleh posisi x dan y pada end effector yaitu $x_T = 0.031$ m, $y_T = 0.013$ m. Kecepatan sudut $\omega_1 = 0.031$ rad/s dan $\omega_2 = 0.031$ rad/s. Pengendali motor DC dan pompa air yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler. Hasil pengujian sistem dapat mengurangi temperatur dan melakukan penembahan kelembaban dengan menghidupkan pompa air. Pada suhu 32 °C dan kelembaban 41 % maka secara otomatis pompa air akan menyiram tanaman selama 2 menit sehingga terjadi penurunan suhu 28 °C dan meningkatkan kelembaban 59 %.

Kata Kunci - smart greenhouse, solar cell, control durasi penyiraman

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara agraris dimana pertanian merupakan salah satu kegiatan yang sangat menunjang kehidupan masyarakat. Pada kehidupan saat ini pertanian banyak digeluti oleh masyarakat kecil maupun masyarakat tingkat sedang. Namun masyarakat kecil yang masih berada didaerah masih terhambat oleh kurangnya pemanfaatan dan pengembangan teknologi yang memang saat

ini membantu dalam mengelolah lahan pertanian maupun hasil-hasil pertanian.

Ketergantungan para petani dari cuaca alam sehingga hasil pertanian tidak memuaskan ketika cuaca yang kita harapkan tidak sesuai dengan yang diharapkan.

Aktivitas manusia dalam mempertahankan hidupnya menyebabkan penggunaan lahan yang makin hari makin bertambah. Lahan yang menjadi unsur utama dalam menunjang kehidupan sangatlah dibutuhkan. Penggunaan

lahan yang semakin meningkat oleh manusia yang kebanyakan menggunakan sebagai tempat tinggal, tempat melakukan usaha, pemenuhan akses umum dan fasilitas lain yang mengakibatkan luas lahan yang semakin terbatas.

Akibat penggunaan lahan yang tidak terkontrol nantinya akan mengganggu keseimbangan ekosistem. Hal itu banyak disebabkan karena mempergunakan lahan yang tidak memperhatikan kemampuan lahan, daya dukung dan bentuk peruntukan lahan tersebut. Seiring dengan berjalannya waktu, lahan akan mengalami perubahan akibat makin meningkatnya kebutuhan manusia akan lahan. Kebutuhan akan lahan yang peruntukannya bukan untuk pertanian terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan dan perkembangan peradaban manusia, maka penguasaan dan penggunaan lahan mulai beralih fungsi.

Pengelolaan pertanian perlu beradaptasi dengan adanya perubahan iklim tersebut. Pendekatan yang bersifat mengubah diperlukan untuk mengelola sumber daya alam di masa depan, seperti perubahan kebijakan, metode praktek, dan alat untuk megembangkan / mempromosikan pertanian berbasis iklim dan lebih banyak menggunakan informasi ilmiah dalam menganalisa risiko dan kerentanan akibat perubahan iklim (Kadir, 2012)

Perkembangan teknologi di era modern ini berkembang pesat sehingga teknologi sangatlah dibutuhkan peranannya dalam pertanian. Teknologi Greenhouse yang mampu beradaptasi dan pendekatan yang bersifat mengubah serta merekayasa iklim untuk kebutuhan akan tanaman sekarang semakin dibutuhkan. Dengan keterbatasan lahan yang tersedia akibat maraknya pembangunan perumahan maupun kawasan industri, perubahan cuaca pada kondisi tropis dan musim hujan maupun musim kemarau yang tidak bisa diprediksi adalah merupakan suatu hal yang menyebabkan penggunaan teknologi Greenhouse menjadi jalan keluar dari masalah tersebut.

Pengembangan Greenhouse yang pada dasarnya menginginkan pemenuhan kebutuhan produk pertanian yang

berkelanjutan tanpa kenal musim. Adanya Greenhouse yang mampu menciptakan iklim yang bisa membuat tanaman mampu berproduksi tanpa kenal musim ini ternyata juga mampu menghindarkan dari serangan hama dan penyakit yang tidak diujikan. Selain itu dengan adanya Greenhouse penyebaran hama dan penyakit yang diujicoba dapat dicegah.

Teknologi Greenhouse yang modern memiliki kemampuan rekayasa cuaca. Dimana didalam Greenhouse perubahan cuaca dapat direkayasa diantaranya : suhu udara, durasi penyiraman dan sirkulasi udara (Alwi, 2011).

Sistem pertanian dengan lingkungan yang terkontrol dimana budidaya tanaman di dalam Greenhouse dapat meningkatkan hasil produksi holtikultura menjadi salah satu solusi dalam rangka Indonesia menuju swasembada pangan. Bahkan dengan adanya metode ini tidak hanya petani saja yang bisa membudidayakan tanaman, bahkan masyarakat perkotaanpun bisa melakukannya karena tidak terlalu membutuhkan tempat yang khusus, bahkan bisa dilakukan di pekarangan rumah. Budi daya tanaman sawi yang berada di dalam Greenhouse memiliki tinggi, dimensi daun, berat basah, dan jumlah daun yang lebih baik dibandingkan dengan di luar Greenhouse (Telaumbanua, 2014).

Dengan kemajuan teknologi proses pengaturan fisis cuaca bisa diatur dengan menggunakan sistem kontrol otomatis sehingga para pemilik Greenhouse tidak harus selalu berada di dalam Greenhouse tetapi dengan adanya sistem kontrol otomatis ini para pemilik Greenhouse bisa melakukan rutinitasnya yang lain karena Greenhouse sudah diprogram sedemikian rupa oleh komputer sehingga Greenhouse akan melakukan fungsinya sesuai apa yang telah diprogramkan. Namun kenyataan saat ini teknologi tersebut masih menggunakan tenaga listrik yang sumbernya dari pemanfaatan sumber energi konvensional seperti batubara, bahan bakar minyak, gas alam dan lain-lain di satu sisi memiliki biaya operasional murah, namun di sisi lainnya menghadapi kendala yang semakin besar. Kendala tersebut adalah sumbernya yang semakin berkurang dan yang lebih penting lagi munculnya persoalan polusi

lingkungan hidup yang membahayakan bagi kehidupan manusia.

Pemanfaatan energi baru dan terbarukan mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi. Potensi energi cahaya matahari sebagai sumber energi terbarukan banyak tersedia di alam. Oleh karena itu pengembangan potensi energi cahaya matahari sebagai sumber tenaga alternatif yang terbarukan dan bebas polusi menjadi kebutuhan mendesak bagi seluruh umat manusia. Pengembangan dan pemanfaatannya harus dilakukan baik dalam bentuk riset di laboratorium maupun terapannya berupa teknologi tepat guna yang langsung dapat dimanfaatkan oleh masyarakat (Sugiyono, 2012)

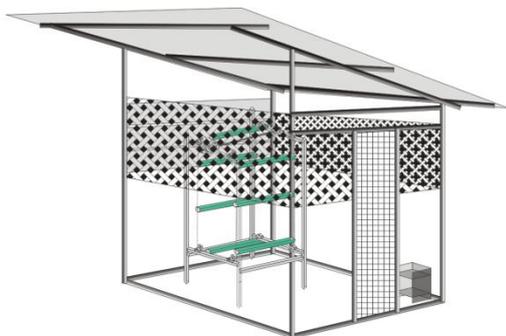
Penelitian ini bertujuan untuk merancang smart greenhouse sebagai tempat budidaya tanaman dengan menggunakan solar cell sebagai sumber listrik. Hasil penelitian ini diharapkan mampu untuk mengendalikan suhu dan kelembaban yang ada didalam greenhouse sehinggalan tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Penelitian ini menggunakan energi sinar matahari sebagai sumber listrik yang digunakan pada greenhouse dengan menggunakan solar cell.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu Penelitian.

Penelitian ini dimulai pada bulan Januari 2015

Mendesain *Smart Greenhouse*



Gambar 1. Desain *Smart Greenhouse*

Dari gambar 1. terlihat gambar model *smart greenhouse* yang akan dibuat. Dari keseluruhan gambar terdapat beberapa komponen yang dirakit menggunakan bahan

yang didapatkan dari toko dan yang dibuat sendiri. Komponen yang lain dibuat dari material besi holo, balok kayu, plastik, gir, rantai dan lain-lain.

Tahapan pembuatan *Smart Green House*

Secara garis besar, tahapan pembuatan *Smart Greenhouse* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar.2 Tahapan pembuatan *Smart Greenhouse*

Tahapan pembuatan *Smart Greenhouse*, yaitu:

- a. Perencanaan, meliputi pemilihan *hardware* dan desain
- b. Pembuatan, meliputi konstruksi, mekanik, listrik elektronik dan program
- c. Uji coba

Tahap perencanaan

Dalam tahap ini, hal yang perlu ditentukan dalam pembuatan *Smart Greenhouse* yaitu:

1. Dimensi, yaitu panjang, lebar dan tinggi
2. Bahan material, apakah dari besi, kayu, plastik, dan sebagainya.
3. Mekanisme, bagaimana sistem mekanik agar rak tanaman pada *Smart Greenhouse* dapat bekerja.
4. Kelistrikan, bagaimana rangkaian sumber listrik yang digunakan untuk *Smart Greenhouse*.
5. Metode pengontrolan, yaitu bagaimana *Smart Greenhouse* dapat dikontrol dengan sistem kontrol yang digunakan.

Tahap pembuatan

Dalam tahap ini pekerjaan yang harus dilakukan yaitu pembuatan konstruksi, mekanik, elektronik, program.

1. Pembuatan konstruksi

Setelah gambaran garis besar bentuk *Smart Greenhouse* dirancang, maka konstruksi *Smart Greenhouse* dapat mulai dibuat. *Smart Greenhouse* terbuat dari balok kayu. Penyambungan rangka satu sama lain dengan paku.

2. Pembuatan sistem mekanik rak tanaman

Setelah pembuatan konstruksi *Smart Greenhouse* kemudian dilanjutkan dengan pembuatan mekanik rak tanaman untuk media tanaman. Bahan utama dari rak tanaman terbuat dari besi hollow.

3. Pembuatan sistem kelistrikan dan elektronik

Dari desain dan cara kerja *Smart Greenhouse* dimana sumber listriknya menggunakan *Solar Cell*. Pembuatan sistem kelistrikan dari *Solar Cell* disesuaikan dengan kebutuhan listrik yang akan digunakan untuk menjalankan motor DC dan pompa air.

4. Pembuatan program

Pembuatan program berdasarkan mekanisme dari seluruh sistem *smart Greenhouse* yang diinginkan, mulai dari gerakan rak tanaman dan sistem penyiraman tanaman.

Uji coba

Setelah semua tahap perencanaan dan pembuatan selesai maka tahap selanjutnya yaitu uji coba untuk mengevaluasi apakah *Smart Greenhouse* dapat bekerja sesuai yang diinginkan, baik dari sisi mekanik dan elektriknya.

Alat dan Bahan yang digunakan

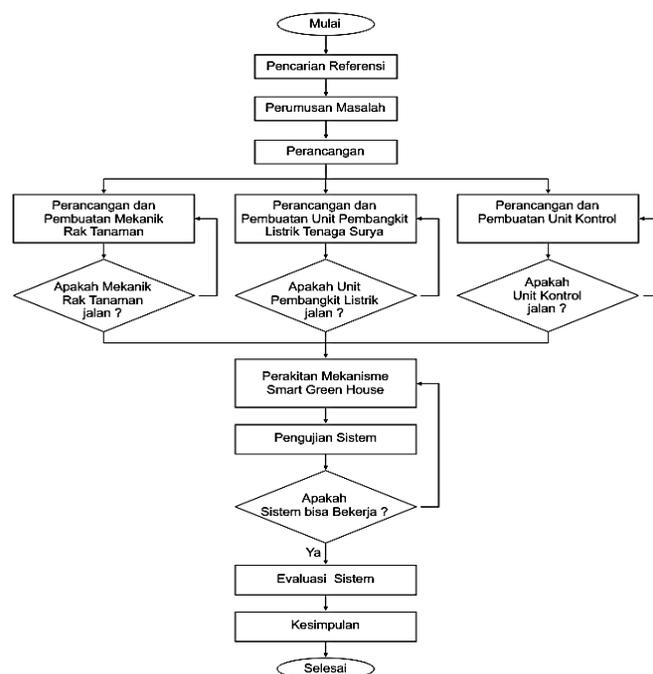
Alat yang digunakan pada perancangan terdiri dari perangkat keras (hardware) terdiri dari komputer/laptop, arduino uno, panel surya, inverter, charger control dan seperangkat peralatan elektronik, sedangkan lunak (software) yang digunakan adalah program arduino 1.6.0 untuk program kendali sedangkan untuk rancangan digunakan program solidwork.

Bahan yang digunakan pada pembuatan alat ini terdiri dari besi hollow, balok kayu, rantai, gear sepeda, pipa paralon, relay, sensor DHT11, pompa air, motor DC ,spray, selang air dan aki

Diagram Alir Penelitian / Flow Chart

Diagram blok penelitian ini dapat digambarkan sebagai berikut :

Seperti terlihat pada gambar 3 diagram diatas langkah-langkah dalam pembuatan *Smart Greenhouse* ini dimulai dengan mencari referensi dari alat dan bahan yang cocok dalam pembuatan alat ini. Informasi tentang keberadaan *Greenhouse* yang masih manual sehingga diadakanlah pembuatan *Smart Greenhouse* yang sudah terkontrol. Terdapat tiga perancangan dan pembuatan dalam *Smart Greenhouse* ini. Pertama perancangan dan pembuatan mekanik rak tanaman, kedua perancangan dan pembuatan unit pembangkit listrik tenaga surya dan ketiga pembuatan unit kontrol.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Masing – masing ketiga rancangan tersebut sebelum dilanjuk ke perakitan *Smart Greenhouse* masing – masing harus diuji terlebih dahulu apakah sudah berjalan dengan baik. Kemudian setelah berjalan dengan baik maka perakitan *Smart Greenhouse* dilanjutka kemudian diuji apakah ketiga rancangan tersebut sudah dapat bekerja dengan baik kalau tidak kembali ke perakitan alat, tetapi kalau baik dilanjut dengan mengevaluasi

peralatan. Setelah itu dibuatlah kesimpulan dari perakitan peralatan yang telah kita buat.

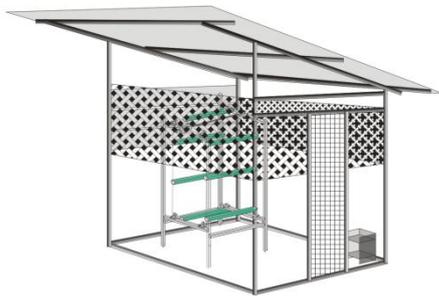
HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Dan Pembuatan *Smart Greenhouse*

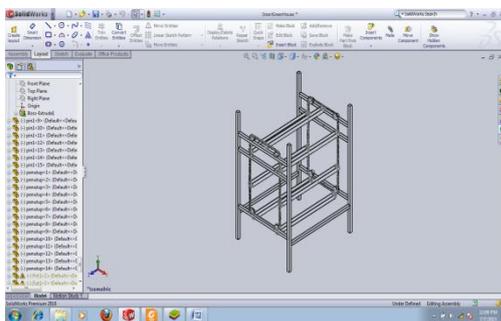
Secara garis besar ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu :/

a. Mendesain *Smart Greenhouse*.

Tahap mendesain *Greenhouse* merupakan tahapan di mana *Greenhouse* dirancang dalam bentuk gambar dua dimensi dan tiga dimensi dengan kelengkapan ukuran yang diskalakan dengan menggunakan program desain SolidWorks sehingga memudahkan dalam proses pembuatan konstruksi mekanik *Greenhouse* lihat gambar 4 dan gambar 5.



Gambar 4. Desain *Smart Greenhouse*



Gambar 5. Desain Rak Tanaman

b. Pembuatan Rangka (Konstruksi) *Smart Greenhouse* Dari Balok Kayu.

Pada pembuatan rangka smart green house disesuaikan dengan ukuran rak tanaman yang ada didalamnya. Pada rak tanaman tersebut jumlah tanaman tomat yang ditanam sebanyak 21 pohon. Selanjutnya adalah pembuatan rangka (konstruksi) greenhouse dari balok kayu berdasarkan

dari desain yang telah dibuat, greenhouse terdiri dari :

a. Atap berfungsi sebagai penutup *greenhouse* yang terbuat dari bahan fiberglass. Di mana bahan tersebut mampu menghantarkan cahaya sekitar 75-80% cahaya dan mengurangi kehilangan panas sekitar 40%. Dimensi atap dengan panjang 3700 mm dan lebar 3300 mm

b. Dinding yang terbuat dari jaring atau net, bambu dan penutup dari plastik. Dinding depan dengan dimensi panjang 2700 mm dan lebar 2500 mm, dinding belakang dengan dimensi panjang 2700 mm dan lebar 2000 mm dan dinding samping dengan dimensi panjang 2000 mm dan lebar 2000 mm lihat gambar 6. Di mana pada dinding menggunakan jaring atau net agar hewan-hewan pengerat (*predator*) tidak dapat masuk ke *greenhouse* dan memudahkan terjadinya sirkulasi udara, dan menghemat pemakaian listrik karena tidak lagi menggunakan kipas atau boiler. Bambu berfungsi untuk penguat pada dinding agar tidak mudah rusak oleh hewan predator dari luar *greenhouse*.



Gambar 6. *Smart Greenhouse*

Dinding dari plastik digunakan untuk menjaga agar suhu dan kelembaban didalam *Greenhouse* tidak terlalu cepat berubah-ubah.

c. Pembuatan Mekanik *Smart Greenhouse*.

Pada pembuatan rak tanaman ini jumlah pohon tomat yang ditanam adalah sebanyak 21 pohon dengan asumsi

ketinggian maksimal pohon tomat adalah 50 cm. Media tanaman menggunakan pipa paralon 3 inch dengan jumlah tanaman sebanyak 3 pohon. Jumlah media tanaman pada rak tanaman ini adalah 21 buah. Pada pembuatan sistem mekanik rak tanaman pada greenhouse terdiri dari:

a. Sistem penggerak pada rak tanaman terdiri dari :

Sumber penggerak/actuator dalam hal ini digunakan power window dengan spesifikasi :

1. Power : 12 volt (50 watt)
2. Kecepatan : 39,6 rpm
3. Torsi : 9,5 Nm



Gambar 7. Rak Tanaman Smart Greenhouse

- b. Konstruksi rak tanaman menggunakan bahan besi hollow 40 x 40. Dimensi panjang 950 mm, lebar 850 mm dan tinggi 1600 mm lihat gambar 7.
- c. Media tanaman menggunakan pipa paralon 3 inchi dengan panjang 800 mm. Jarak antar media tanaman 500 mm
- d. Mur, baut, las sebagai pengikat. Rantai, roda gigi (sebagai transmisi)

Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Untuk menjalankan motor DC dan pompa air pada *Smart Greenhouse* dibutuhkan daya. Dalam hal ini digunakan *Solar Cell* sebagai pembangkit daya untuk mengisi baterai/aki. Pada waktu solar cell mendapatkan energy

dari cahaya matahari di siang hari, rangkaian charger controller otomatis bekerja dan mengisi (charge) battery dan menjaga tegangan battery agar tetap stabil.

a. Panel Surya (*Solar Cell*)

Untuk menjalankan motor DC dan pompa air pada *Smart Greenhouse* dibutuhkan daya. Dalam hal ini digunakan *Solar Cell* sebagai pembangkit daya untuk mengisi baterai/aki. Daya yang digunakan setiap hari untuk menjalankan motor DC dan pompa air pada *Smart Greenhouse* adalah Motor DC 50 watt x 0.083 jam (5 menit) = 5 watt / hari

Pompa Air 125 watt x 0.13 jam (8 menit) = 20 watt /

Total = 25 watt / hari

Solar Cell yang digunakan adalah Solar Cell 100 wp yang artinya mempunyai 100 watt peak (pada saat matahari terik). Peak 1 hari di asumsikan 4,5 jam (hitungan aman adalah 4 jam) sehingga 100 x 4 = 400 watt / hari. Jumlah tersebut adalah kapasitas maksimal yang dapat dihasilkan daya untuk 1 hari.

Jumlah daya yang dihasilkan dikurangi dengan jumlah daya yang digunakan oleh *Smart Greenhouse* adalah

$$400 - 25 = 375 \text{ watt}$$

Masih ada 375 watt / perhari daya yang dapat digunakan, sehingga *Solar Cell* 100 wp dianggap aman untuk digunakan.

b. Charge Control

Pada waktu solar panel mendapatkan energy dari cahaya matahari di siang hari, rangkaian charger controller ini otomatis bekerja dan mengisi (charge) battery dan menjaga tegangan battery agar tetap stabil . Battery yang digunakan adalah 12V, maka charger control ini akan menjaga agar tegangan charger 12x10% , tegangan charger yang di butuhkan antara 13,2 – 13,4 Volt dan bila sudah mencapai tegangan tersebut, rangkaian ini otomatis akan menghentikan proses pengisian battery tersebut. Sebaliknya apabila tegangan battery turun / drop hingga 11 Volt , maka controller akan memutus

tegangan sehingga battery tidak sampai habis.

c. Battery / aki

Fungsi battery adalah sebagai tempat untuk menyimpan daya (power storage). Kebutuhan batere minimum (batere hanya digunakan 50% untuk pemenuhan kebutuhan listrik), dengan demikian kebutuhan daya kita kalikan 2 x lipat : $25 \times 2 = 50 \text{ Watt hour} = 50 / 12 \text{ Volt} / 5 \text{ Amp} = 1 \text{ batere } 5 \text{ Ah}$. Kebutuhan batere (dengan pertimbangan dapat melayani kebutuhan 3 hari tanpa sinar matahari) : $25 \times 3 \times 2 = 150 \text{ Watt hour} = 150 / 12 \text{ Volt} / 5 \text{ Amp} = 3 \text{ batere } 5 \text{ Ah}$. Battery yang digunakan adalah battery 32 Ah agar dapat digunakan jika 7 hari tanpa sinar matahari.

d. Inverter

Inverter berfungsi sebagai perangkat elektrik yang mengkonversikan tegangan searah (DC - direct current) menjadi tegangan bolak balik (AC - alternating current)

Sistem Kontrol Otomatis Pada Smart Greenhouse

Pada Greenhouse terdapat beberapa sistem kontrol pengkondisian otomatis yang digunakan yaitu:

a. Sistem kontrol penyiraman tanaman.

Agar tanaman dapat tumbuh dengan baik maka perlu dilakukan penyiraman secara teratur setiap harinya. Pada greenhouse konvensional, penyiraman dilakukan secara manual oleh pemiliknya dengan melakukan penjadwalan penyiraman secara kontinu sehingga pemilik harus menyisihkan waktunya untuk menyiram tanaman. Pada smart greenhouse ini proses penyiraman tanaman dilakukan secara otomatis sesuai dengan jadwal penyiraman yang diinginkan. Jadwal penyiraman dilakukan pada pukul 07.00 pada pagi hari dan pada pukul 17.00 pada sore hari sistem ini menggunakan sistem kontrol lup

terbuka. Selain jadwal penyiraman, pada smart greenhouse juga menggunakan sensor suhu dan kelembaban untuk menjaga kondisi tanaman didalam greenhouse.

Sistem kontrol pengkondisian suhu dan kelembaban di dalam greenhouse dibuat sesuai dengan faktor iklim yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dalam hal ini suhu dan kelembaban. Dalam penelitian ini diambil sampel tanaman tomat dimana syarat pertumbuhan yang baik berada pada suhu $24^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$ sistem ini menggunakan sistem kontrol lup tertutup.

Berdasarkan data suhu pada tabel 1. dibuat sistem kontrol dengan menggunakan sensor suhu dan kelembaban (DHT11) dimana sensor ini mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban yang terjadi di dalam greenhouse.

Tabel 1. Syarat suhu, RH cahaya matahari, ketinggian beberapa tanaman

Tanaman	Suhu (°C)	RH %	Cahaya Matahari	Ketinggian
Tomat	24-32	50-80	+400 fc	500-1500
Paprika/Capsicum	21-30	60-80	+400 fc	700-1200
Selada/Lettuce	17-28	50-60	+400 fc	700-1500
Timun/Melon/Semangka	17-32	50-60	200-400 fc	100-1500
Sawi/Bayam	20-32	60-80	+400 fc	0-1200

Prinsip kerjanya dengan menggunakan sensor suhu dan kelembaban (DHT11) dalam hal ini dimana dalam keadaan suhu tinggi dan kelembaban rendah maka akan dilakukan penyiraman otomatis berdasarkan tinggi atau rendahnya nilai dari sensor tersebut. Sensor ini akan mengirimkan sinyal ke mikrokontroler arduino yang selanjutnya akan mengeksekusi program untuk menyalakan pompa air, pompa air akan terus menyala sesuai durasi waktu yang telah diatur.

- b. Sistem kontrol pengkondisian posisi tanaman (pergerakan rak tanaman).

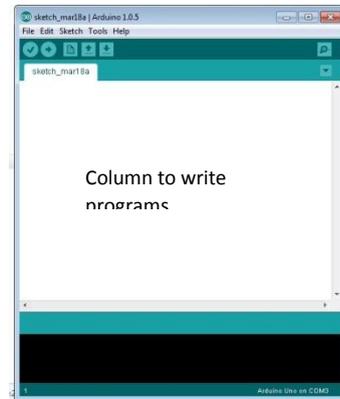
Pada siang hari didalam *Greenhouse* tanaman akan mendapatkan cahaya dari matahari untuk proses fotosintesis. Sinar matahari yang diterima oleh tanaman pada siang hari tidak akan sama karena posisi tanaman pada rak tananam *Greenhouse* disusun bertingkat seperti pada gambar 8. Pada mikrokontroler arduino diprogram mekanisme mekanik rak tanaman *Greenhouse* berupa motor DC akan bekerja untuk mengatur pergerakan tanaman agar tanaman dapat mendapat cahaya matahari untuk proses fotosintesis.



Gambar 8. Posisi Tananam pada Rak Tanaman *Smart Greenhouse*

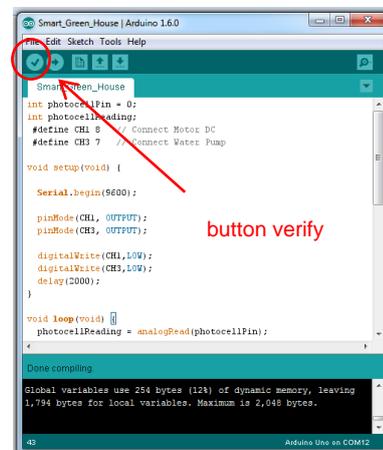
Pembuatan Program Pada Perangkat Lunak *Arduino For Windows*

Untuk membuat program pada perangkat lunak *arduino for windows*, caranya adalah dengan mengetikkan baris program pada kolom ketikan *arduino for windows* lihat gambar 9. Program yang diketik pada kolom ketikan *arduino for windows* dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 9. Tampilan perangkat lunak *Arduino for windows*

Setelah program selesai diketik, maka dilakukan verifikasi program dengan cara menekan tombol *verify* (tanda centang) pada *toolbar arduino for windows* lihat gambar 10. Apabila tidak ada kesalahan program, pada kolom bagian bawah perangkat lunak *arduino for windows* tidak ada tulisan peringatan kesalahan



Gambar 10. Baris program yang sudah diverifikasi

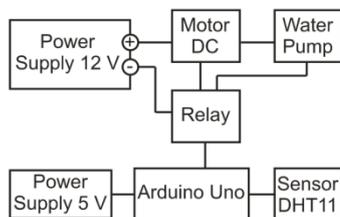
- a. Memasukkan Program Pada *hardware* Arduino Uno
Program yang telah selesai diverifikasi (di *compile*) kemudian dimasukkan ke dalam mikro kontroler pada *hardware* Arduino Uno. Caranya adalah dengan menyambungkan port USB komputer dengan port USB arduino. Setelah tersambung, pada perangkat lunak *arduino for windows* tekan tombol *upload* lihat gambar 11.



Gambar. 11 Tombol *upload* pada perangkat lunak *arduino for windows*

- b. Menjalankan Motor DC dan Pompa Air dengan *board* Arduino Uno

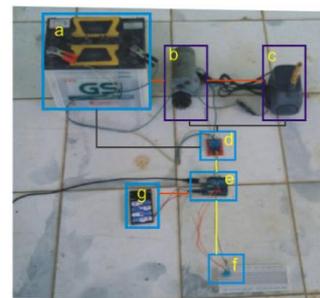
Setelah program dari perangkat lunak *arduino for windows* di *upload* pada *board* arduino uno, langkah selanjutnya adalah menggabungkan motor DC dan relay dengan arduino uno. Pada langkah ini yang perlu di persiapkan adalah relay, *board* arduino uno, *power supply* dan kabel. Sambungkan *port input* pada relay ke port digital (pin 7 dan pin 8) *board* arduino uno. Skema rangkaian unit kontrol alat *Greenhouse* adalah seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Skema unit kontrol alat *Greenhouse*

Diagram alir untuk menentukan pengaturan durasi pompa air dengan metode *fuzzy* pada gambar 42. Dalam mengatur durasi pompa air menggunakan metode *fuzzy* ini kondisi acuannya adalah pada kondisi suhu dan kondisi kelembaban

Unit kontrol yang telah dirangkai dapat dilihat pada gambar 12. Pada gambar 13, *power supply* 12 volt negatif (gambar a) menyuplai voltase 12 volt ke motor dc (gambar b) dan menyuplai 12 volt ke pompa air (gambar c), sedang *power supply* positif melalui relay (gambar d). Relay ini yang menghubungkan dan memutuskan arus ke motor dc dan pompa air sesuai dengan program yang telah diupload kedalam mikrokontroler arduino uno (gambar e). Output arduino terhubung dengan dengan relay sedang input arduino terhubung dengan sensor suhu dan kelembaban (DHT11). Sensor suhu dan kelembaban (gambar f) memberi signal ke mikrokontroler arduino uno kemudian mikrokontroler arduino uno memberi signal untuk mengaktifkan relay sesuai durasi yang diprogramkan.



Gambar 13. Unit kontrol alat *Greenhouse*

Power supply 5 volt (gambar g) dihubungkan ke *mikrokontroler* arduino uno, maka motor dc dan pompa air akan bergerak sesuai dengan program yang telah diupload ke dalam mikrokontroler arduino uno.

Unit kontrol alat *Greenhouse* dipasang pada papan akrilik agar posisi komponen elektroniknya tidak berubah lihat gambar 14. Agar unit kontrol alat *Greenhouse* rapi dan aman, unit kontrol dibuatkan tempat khusus yang terbuat dari papan yang dipasang pada bagian sudut *Greenhouse*.



Gambar 14. Kotak Unit Kontrol

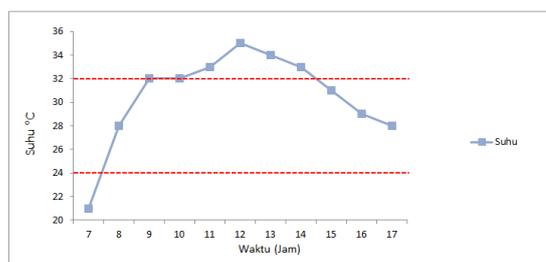
Pengujian Suhu dan Kelembaban pada Greenhouse

1. Pengujian Greenhouse tanpa penyiraman

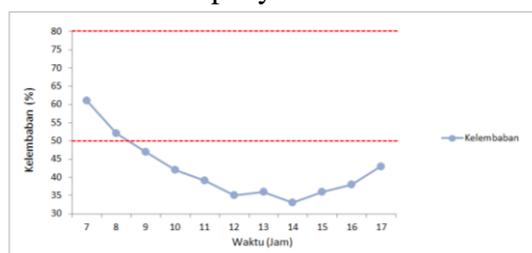
Tabel 2. Pengambilan Suhu dan Kelembaban

Pukul	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Suhu	21	28	32	32	33	35	34	33	31	29	28
RH (%)	61	52	47	42	39	35	36	33	36	38	43

Pengambilan suhu dilakukan mulai jam 07.00-17.00 WITA yang dilakukan tanggal 4 Juli 2015. Pengambilan suhu dilakukan untuk mengetahui besarnya suhu dan kelembaban didalam greenhouse tanpa dilakukan penyiraman. Suhu tertinggi terjadi pada pukul 12.00 WITA dengan suhu 35°C kelembaban 35 %. Hasil dari ini dapat dijadikan dasar untuk membuat alat pengontrol suhu dan kelembaban dalam Greenhouse. Distribusi suhu dan kelembaban dalam rumah tanaman tanpa penyiraman ditunjukkan oleh Gambar 15. dan gambar 16. Distribusi suhu pada Greenhouse tanpa penyiraman relatif tinggi yaitu antara 32° - 35°C. Nilai temperatur ini tidak bagus untuk pertumbuhan tanaman tomat sehingga menjadi tumbuh kurang maksimal. Hal ini disebabkan karena tanaman tomat memerlukan suhu yang optimal antara 24° C – 32° C. Begitu juga dengan besarnya nilai kelembaban juga berpengaruh. Sehingga perlu dikendalikan besarnya nilai suhu dan kelembaban dalam greenhouse.



Gambar.15 Grafik Suhu tanpa penyiraman



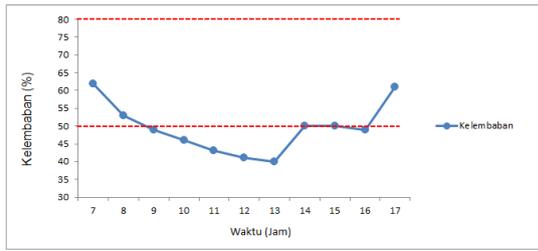
Gambar 16. Grafik Kelembaban tanpa penyiraman

2. Pengujian Greenhouse dengan kontrol penyiraman pagi dan sore hari.

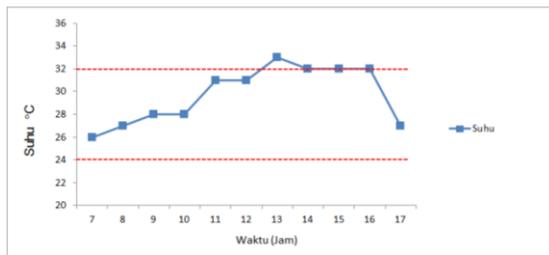
Tabel 2. Pengambilan Suhu dan Kelembaban kontrol penyiraman pagi dan sore hari

Pukul	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Suhu	26	27	28	28	31	31	33	32	32	32	27
RH (%)	62	53	49	46	43	41	40	50	50	49	61

Penyiraman dilakukan pada pagi hari pukul 07.00 WITA. Pada pukul tersebut nilai suhu masih cukup bagus yaitu 26° C dengan kelembaban 62 % hal ini terjadi karena sudah dilakukan penyiraman. Tetapi pada pukul 11.00 WITA suhu didalam Greenhouse meningkat dan kelembaban menurun yakni suhu 31 °C dan kelembaban 43 °C sampai pada pukul 16.00 WITA. Hal ini terjadi karena yang dikontrol pada sistem



Gambar. 17 Grafik Suhu Penyiraman Pagi dan Sore



Gambar. 18 Grafik Kelembaban Penyiraman Pagi dan Sore

ini hanya penyiraman pada pagi dan sore hari. Pada pukul 17.00 WITA suhu dan kelembaban sudah dapat dikendalikan sesuai dengan harapan yakni suhu dengan rentang $24^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban 61%. Hal ini terjadi karena kondisi sinar matahari sedang dalam kondisi terik. Pada selang waktu tersebut alat kontrol suhu dan kelembaban (DHT11) belum dipasang. Distribusi suhu dan kelembaban pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 17. dan gambar 18.

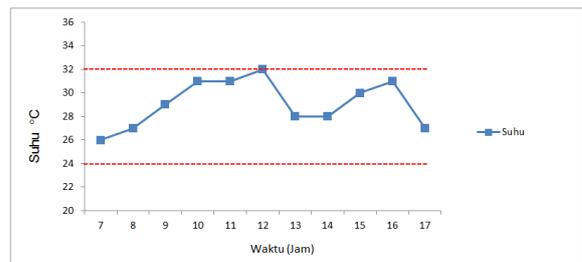
3. Pengujian *Greenhouse* dengan kontrol suhu, kelembaban penyiraman pagi dan sore hari

Tabel 3. Pengambilan Suhu dan Kelembaban dengan kontrol suhu dan kelembaban

Pukul	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Suhu	26	27	29	31	31	32	28	28	30	31	27
RH (%)	62	53	49	46	43	41	59	55	50	46	61

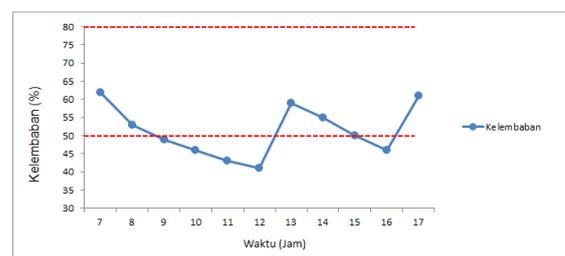
Penyiraman dilakukan pada pagi hari pukul 07.00 WITA. Pada pukul tersebut nilai suhu masih cukup bagus yaitu 26°C dengan kelembaban 62 % hal ini terjadi karena sudah

dilakukan penyiraman. Tetapi pada pukul 12.00 WITA suhu didalam *Greenhouse* meningkat dan kelembaban menurun yakni suhu 32°C dan kelembaban 41 %. Hal ini terjadi karena karena kondisi terik matahari dan angin agak kencang. Pada selang waktu tersebut sensor DHT11 memberikan signal ke arduino sehingga penyiraman terjadi dan pada pengukuran pada pukul 01.00 WITA menunjukkan suhu 28°C dan kelembaban 59 %. Pada selang waktu tersebut alat kontrol suhu dan kelembaban mampu mengendalikan naik turunnya



Gambar 19. Grafik Suhu dengan Kontrol Suhu dan Kelembaban

nilai suhu dan kelembaban didalam *Greenhouse*. Distribusi suhu dan kelembaban pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 19. dan Gambar 20.



Gambar 20 Grafik Kelembaban dengan Kontrol Suhu dan Kelembaban

Kinematika Manipulator Rak Tanaman Pada *Smart Greenhouse*.

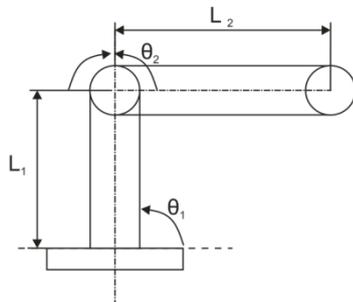
1. Kinematika Maju (Forward Kinematic)

Aplikasi perhitungan DH parameter untuk kinematika maju dapat kita lihat pada perhitungan – perhitungan parameter pada manipulator 2 DOF lihat gambar 21.

Diketahui :

$$L_1 = 13 \text{ mm} = 0,013 \text{ m} \quad \theta_1 = 90^\circ$$

$$L_2 = 31 \text{ mm} = 0,031 \text{ m} \quad \theta_2 = 90^\circ$$



Gambar 21 Konfigurasi Robot Manipulator 2 sendi (DOF)

Maka tentukanlah Posisi dari end effector dari konfigurasi manipulator robot 2 DOF !

DH Parameter

i-1	i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
0	1	0	0	0	$\theta_1 = 90^\circ$
1	2	-90	0,013	0	$\theta_2 = 90^\circ$

Rumus Umum adalah :

$${}^{i-1}T = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -a_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan Tabel DH Parameter maka transformasi matriks setiap sumbu adalah sebagai berikut :

a. Transformasi matriks untuk sumbu 1 (0T_1) adalah :

$$\text{Link 1 : } \alpha_{i-1} = 0, \quad a_{i-1} = 0, \quad d_i = 0, \quad \theta_1 = 90^\circ$$

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 \cos 0 & \cos 90 \cos 0 & -\sin 0 & -\sin 0 \cdot 0 \\ \sin 90 \sin 0 & \cos 90 \sin 0 & \cos 0 & \cos 0 \cdot 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

b. Transformasi matriks untuk sumbu 2 (1T_2) adalah :

$$\text{Link 2 : } \alpha_{i-1} = -90, \quad a_{i-1} = 0,013, \quad d_i = 0, \quad \theta_2 = 90^\circ$$

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0,013 \\ \sin 90 \cos -90 & \cos 90 \cos -90 & -\sin -90 & -\sin -90 \cdot 0 \\ \sin 90 \sin -90 & \cos 90 \sin -90 & \cos -90 & \cos -90 \cdot 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

c. Pergerakan lengan dari base menuju sumbu 2 yaitu :

$${}^0T_2 = {}^0T_1 \cdot {}^1T_2$$

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0 \\ \sin 90 \cos 0 & \cos 90 \cos 0 & -\sin 0 & -\sin 0 \cdot 0 \\ \sin 90 \sin 0 & \cos 90 \sin 0 & \cos 0 & \cos 0 \cdot 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} \cos 90 & -\sin 90 & 0 & 0,013 \\ \sin 90 \cos -90 & \cos 90 \cos -90 & -\sin -90 & -\sin -90 \cdot 0 \\ \sin 90 \sin -90 & \cos 90 \sin -90 & \cos -90 & \cos -90 \cdot 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0,013 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Jadi posisi x dan y dalam sumbu 2 adalah :

$$X_2 = 0 \text{ (m)} \quad Y_2 = 0,013 \text{ (m)}$$

d. Pergerakan lengan dari dasar menuju end effector.

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 c_2 & -c_1 s_2 & -s_1 & c_1 L_1 \\ s_1 c_2 & -s_1 s_2 & c_1 & s_1 L_1 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} L_2 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} X_T &= c_1 L_1 + L_2 c_1 c_2 \\ &= \cos 90 \cdot 0,013 + 0,031 \cdot \cos (90 + 90) \\ &= 0,031 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_T &= s_1 L_1 + L_2 s_1 c_2 \\ &= 0,013 \cdot \sin 90 + 0,06 \cdot \sin 90 \cdot \cos 90 \\ &= 0,013 \text{ m} \end{aligned}$$

1. Kinematika Invers

Diketahui :

$$L_1 = 13 \text{ mm} = 0,013 \text{ m} \quad L_2 = 0,031 \text{ m}$$

$$m = 0,031 \text{ m}$$

$$X_T = 0,031 \text{ m}$$

$$Y_T = 0,013 \text{ m}$$

$$X = 0$$

$$Y = 0,013 \text{ m}$$

a. Menentukan nilai θ_2

$$\begin{aligned} \theta_2 &= \arccos \left[\frac{X_T^2 + Y_T^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1 L_2} \right] \\ &= \arccos \left[\frac{(0,031)^2 + (0,013)^2 - (0,013)^2 - (0,031)^2}{2 \cdot (0,013) \cdot (0,031)} \right] \end{aligned}$$

$$= \arccos \frac{0,00226}{0,000806}$$

$$= \arccos 2,804$$

$$= 62,55^\circ$$

b. Menentukan nilai θ_1

$$\theta_1 = \beta + \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{L_2 \sin \theta_2}{L_2 \cos \theta_2 + L_1}$$

$$= \arctan \frac{0,031 \sin 90}{0,031 \cos 90 + 0,013}$$

$$= \arctan \frac{0,031}{0,013}$$

$$= \arctan 2,385$$

$$= 67,25^\circ$$

$$\tan \beta = \frac{Y_T}{X_T}$$

$$= \arctan \frac{0,013}{0,031}$$

$$= \arctan 0,419$$

$$= 22,75^\circ$$

Jadi :

$$\theta_1 = 67,25^\circ + 22,75^\circ = 90^\circ$$

2. Kecepatan Sudut.

$$r_{11} = \cos 90 \cdot \cos 90 - \sin 90 \cdot \sin 90 = -1$$

$$r_{12} = -\cos 90 \cdot \sin 90 = 0$$

$$r_{21} = \sin 90 \cdot \cos 90 = 0$$

$$r_{22} = -(\cos 90 \cdot \sin 90 + \sin 90 \cdot \cos 90) = 0$$

Dengan menggunakan transformasi jacobian maka persamaan kinematiknya dapat ditulis :

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_T \\ \dot{Y}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \dot{X}_T \\ \dot{Y}_T \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0,031 \\ 0,013 \end{bmatrix}$$

Invers dari :

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{1-0} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

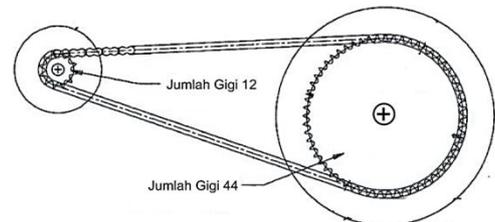
$$\begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0,031 \\ 0,013 \end{bmatrix}$$

$$\omega_1 = 0,031 \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = 0,031 + 0 = 0,031 \text{ rad/s}$$

3. Sistem Transmisi Pada Media Tanaman Hidroponik

1. Transmisi pada Motor.



Gambar 22. Rasio Roda Gigi

a. Rasio Transmisi

$$i_1 = \frac{z_1}{z_2} = \frac{12}{44} = 0,273$$

Dimana Z_1 adalah jumlah gigi Gir Motor dan $Z_2 =$ jumlah gigi Gir A_1

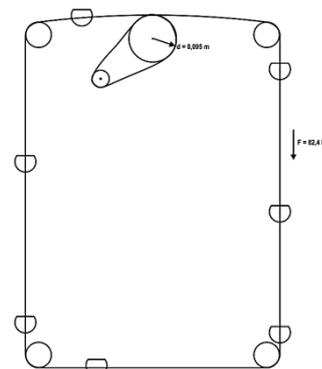
b. Putaran output

Putaran output yang diinginkan pada perancangan ini adalah 9 rpm agar rak tanaman dapat berpindah. Putaran motor yang direncanakan adalah

$$n_1 = \frac{n_2}{i_1} = \frac{9}{0,273} = 33 \text{ rpm}$$

Jadi putaran motor yang dapat digunakan adalah 33 rpm. Motor yang tersedia dipasaran adalah motor dengan putaran 39.6 rpm.

2. Perhitungan Torsi Pada Rak Tanaman



Gambar 23. Rak Tanaman

Beban pada rak tanaman ini adalah 8,4 kg
= 82,4 N

Jarak pembebanan dengan pusat
perputaran = 0,095 m

$T = F \times d = 82,4 \times 9,5 = 7,9 \text{ Nm}$

3. Perhitungan Daya Motor

$$P = T \times 2 \times \pi \times \frac{n}{60}$$

$$= 7,9 \times 2 \times 3,14 \times \frac{33}{60}$$

$$= 27,29 \text{ watt}$$

Motor yang tersedia dipasaran adalah motor dengan daya 50 watt.

Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Smart green house mempunyai dimensi atap dengan panjang 3700 mm dan lebar 3300 mm menggunakan material fiber glass. Greenhouse berukuran 2700 mm x 2000 mm x 2000 mm (pxlxt) menggunakan balok kayu sebagai bahan dasar konstruksi. Rangka rak tanaman menggunakan besi hollow dengan dimensi 950 mm x 850 mm x 1600 mm (pxlxt) dengan menggunakan pipa paralon 3 inchi dengan panjang 80 mm sebagai media tanaman. Motor DC yang digunakan memiliki tegangan masukan 12 volt, daya 50 watt dan RPM 39.6. Pompa air yang digunakan memiliki tegangan masukan 220 volt dengan daya 125 watt. Solar Cell yang digunakan adalah solar cell 100 wp dengan pemakaian daya perhari \pm 25 watt perhari. Pemrograman unit kontrol menggunakan arduino uno.
2. Dari persamaan kinematika rak tanaman smart green house diperoleh posisi x dan y pada *end effector* yaitu $x_T = 0.031 \text{ m}$, $y_T = 0.013 \text{ m}$. Kecepatan sudut $\omega_1 = 0.031 \text{ rad/s}$ dan $\omega_2 = 0.031 \text{ rad/s}$.

3. Hasil perancangan sistem pengendali motor DC dan pompa air yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroler. Pompa air bekerja pada pagi dan sore hari dan berdasarkan suhu dan kelembapan yang dideteksi sensor DHT11. Dari hasil pengujian sistem dapat mengurangi temperatur dan melakukan penembahan kelembapan dengan menghidupkan pompa air. Pada suhu 32 °C dan kelembapan 41 % maka secara otomatis pompa air akan menyiram tanama selama 2 menit sehingga terjadi penurunan suhu 28 °C dan meningkatkan kelembapan 59 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alwi, M. (2011). Analisis Kinematika dan Dinamika Smart Green House Untuk Tanaman Hidroponik. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- [2] Djuandi, F. (2011). [https://www.tobuku.com/docs/Arduino - pengenalan.pdf?](https://www.tobuku.com/docs/Arduino-pengenalan.pdf) Dipetik Maret 6, 2014, dari www.tobuku.com.
- [3] Elektronik, T. (2009, March 15). www.tokoelektronika.com. Dipetik October 22, 2014, dari [//www.tokoelektronika.com/tutorial](http://www.tokoelektronika.com/tutorial).
- [4] Kadir, A. (2012). Rancang Bangun Smart Green House Dengan Metode Expert System. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- [5] Kusumadewi, S. (2002). Tool Box Matlab. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Ogata, K. (1993). Teknik Kontrol Otomatik (terjemahan). Jakarta: Erlangga.
- [7] Pracaya. (1998). Bertanam tomat. Yogyakarta: Kanisius.
- [8] S, K., & H, P. (2011). Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [9] Sastrahidayat. (1992). Bertanam Tomat. Jakarta: Penebar Swadaya.
- [10] Sugiyono, A. (2012). [www.academia.edu/5860202/Outlook Kelistrikan Indonesia 2010-2030 Prospek Pemamfaatn Energi Baru dan](http://www.academia.edu/5860202/Outlook-Kelistrikan-Indonesia-2010-2030-Prospek-Pemamfaatn-Energi-Baru-dan)

- Terbarukan. Dipetik 07 2014, dari
www.academia.edu.
- [11] Syam, R. (2012). Konsep dan
cara membuat mobile robot.
Makassar: Membumi publishing.
- [12] Syam, R (2015) Dasar Dasar
Teknik Sensor. Makassar.
- [13] Telaumbanua, M. (2014).
Rancang Bangun Aktuator Pengendali
Iklim Mikro di Dalam Green House
Untuk Pertumbuhan Tanaman Sawi.
Agritech Vol.34, 213-222.