

BAB IV

PEMBUATAN ALAT

4.1 Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Proses pembuatan difokuskan pada perakitan komponen mekanik dan elektrik, serta implementasi sistem *anti-tilt* berbasis kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) sebagai pengembangan dari prototipe sebelumnya. Sistem tersebut diimplementasikan melalui integrasi sensor MPU-6050, aktuator, mikrokontroler WeMos S2 Mini ESP32-S2FN4R2, serta aplikasi Blynk sehingga prototipe mampu mendeteksi kemiringan spreader dan melakukan tindakan koreksi secara otomatis selama proses pemindahan kontainer.

Tahapan pembuatan alat diawali dengan identifikasi kebutuhan komponen yang digunakan, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan perangkat keras, pembuatan sistem mekanik, serta pengembangan perangkat lunak sebagai pengendali utama sistem. Seluruh tahapan tersebut dilakukan untuk memastikan setiap komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang telah dirancang sehingga sistem *anti-tilt* pada prototipe *Automated RTG Crane* dapat beroperasi secara optimal.

4.4.1 Alat dan Bahan

Proses pembuatan prototipe ini memerlukan berbagai peralatan dan komponen yang saling mendukung. Peralatan digunakan selama proses perakitan dan pengujian prototipe, sedangkan bahan yang digunakan terdiri atas komponen mekanik, elektronik, dan kelistrikan yang diintegrasikan untuk membentuk sistem secara keseluruhan.

Pemilihan setiap komponen didasarkan pada kebutuhan sistem yang telah dirancang pada BAB III, sehingga mampu mendukung implementasi mekanisme penggerak, sistem kendali, komunikasi berbasis Internet of Things (IoT), serta pengendalian *anti-tilt* pada spreader. Daftar alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan prototipe disajikan pada **Tabel 4 – 1** dan **Tabel 4 – 2**.

Tabel 4 - 1 Daftar Alat Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

No	Alat	Spesifikasi	Jumlah (Pcs)
1	Meteran	3 m	1
2	Bor Tangan	DC 12V	1
3	Bor Listrik	AC 220V	1
4	Gerinda	AC 220V	1
5	Tang Kombinasi	Ukuran Sedang	1
6	Spidol	Hitam	1
7	Obeng	1 Set	1
8	Solder	220 V/60 W	1
9	Stop Kontak	4 Lubang	1
10	Gunting	Ukuran Sedang	1
11	Multimeter	Digital	1
12	Pinset	Ukuran Sedang	1

Tabel 4 - 2 Daftar Bahan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

No	Bahan	Spesifikasi	Jumlah (Pcs)
1	Mikrokontroler	Arduino Mega 2560	1
2	Lolin S2 Mini	ESP32	1
3	<i>Power Supply</i>	12 V 5 A	1
4	Modul <i>Stepdown</i> LM2596	<i>Input</i> : 3,2 – 40 V <i>Output</i> : 1,25 – 35 V	1
5	<i>Motor Driver</i> H-Bridge L298N	Input Voltage: 3.2 ~ 40 VDC Peak Current: 2 Amp	1
6	IC TA 6586	Input Voltage: 3.0 ~ 14 VDC Peak Current: 9 Amp	3

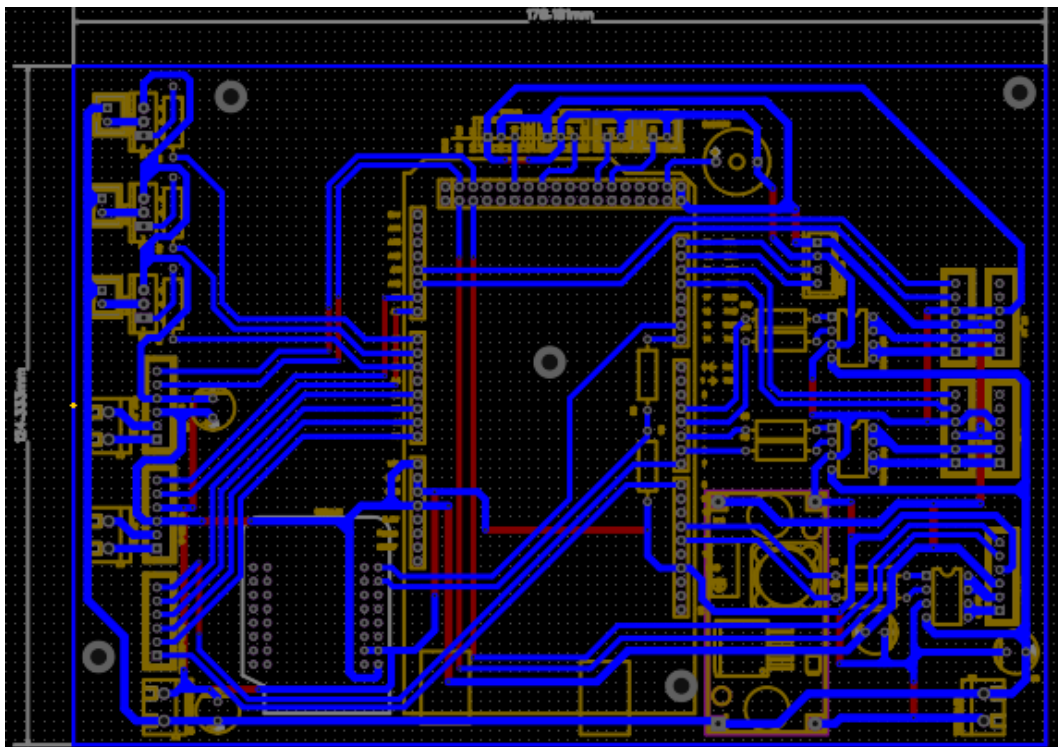
No	Bahan	Spesifikasi	Jumlah (Pcs)
7	<i>DC Geared Motor</i> YGY6138-R528C	12 V	6
8	<i>DC Geared Motor</i> 25GA370	12V	1
9	Roda Mobil RC	68 mm	4
10	Sensor Infrared	HW201	1
11	Limit Switch	5 A	2
12	Motor Servo	TowerPro MG996R	1
13	Buzzer	5 V	1
14	<i>Pilot Lamp Red</i>	5 mm	1
15	<i>Pilot Lamp Yellow</i>	5 mm	1
16	<i>Pilot Lamp Green</i>	5 mm	1
17	Kabel Pita	6 Pin	3 meter
18	Spiral Kabel	6 mm	3 meter
19	Konektor JST XH2.54 <i>Male</i>	6 Pin	8
20	Konektor JST XH2.54 <i>Female</i>	6 Pin	8
21	Konektor JST XH2.54 <i>Male</i>	4 Pin	1
22	Konektor JST XH2.54 <i>Female</i>	4 Pin	1
23	Konektor JST XH2.54 <i>Male</i>	3 Pin	2
24	Konektor JST XH2.54 <i>Female</i>	3 Pin	2
25	Konektor JST XH2.54 <i>Male</i>	2 Pin	2

No	Bahan	Spesifikasi	Jumlah (Pcs)
26	Konektor JST XH2.54 Female	2 Pin	2
27	Transistor BC547	Transistor NPN	3
28	Hexagonal Wheel Hub Adapter	Inside Diameter (Shaft): 6mm Hex Head Width: 12mm Length: 30mm	2
29	Shaft Coupling 4X8	Diameter: 14mm Shaft: 4mm to 8mm Length: 25mm	1
30	Shaft Coupling 6X8	Diameter: 14mm Shaft: 6mm to 8mm Length: 25mm	4
31	Box Project	X10	1
32	Hollow Alumunium	1x1 inch	6 meter
33	Plat Alumunium	1.5 mm	50x50 cm
34	Siku Alumunium	1.5 mm	1 meter
35	Paku Rivet	4 mm	100
36	Lead Screw	8 mm pitch, 2 mm, and lead 8 mm	700 mm
37	Trapezoidal Bracket T8 Housing	30 x 30 x 34 mm	1
38	Nut T8 Lead Screw Pitch	2 mm	1
39	KP08 Bearing Insert Bearing Shaft Support	8 mm	1
40	Bearing Roller	8 mm	2
41	PCB Cetak	18 x 12.5 cm	1
42	Tenol	1 gulung	1
43	Flux solder	1 pcs	1

No	Bahan	Spesifikasi	Jumlah (Pcs)
44	Filamen 3D	1 gulung	1

4.4.2 Pembuatan Rangkaian Elektrik

Setelah memiliki gambaran terkait wiring diagram rangkaian, langkah selanjutnya adalah menyusun skematik rangkaian dan layout PCB pada aplikasi EasyEDA. Penyusunan dilakukan dengan mengacu pada skematik rangkaian yang telah dibuat sehingga jalur koneksi antar komponen dapat tersusun secara sistematis dan sesuai dengan kebutuhan sistem. Hasil perancangan *layout* PCB menggunakan EasyEDA ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4 . 1 Layout PCB

Tahap selanjutnya adalah melakukan penyetakan *layout* PCB pada PCB tembaga polos menggunakan CNC Laser kampus. Dilanjutkan dengan proses *etching* untuk menghilangkan tembaga yang tidak dilindungi oleh pola *layout* PCB hasil cetakan. Proses penyetakan *layout* PCB dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



Gambar 4 . 2 Penyetakan *Layout PCB*

Langkah berikutnya setelah mendapat sisa jalur PCB tembaga, yaitu dengan melubangi ujung jalur dengan bor tangan sesuai ukuran bolongannya. Kemudian setelah selesai melubangi semua ujung jalur tembaga yang perlu dibolongi, dilanjutkan dengan menyolder seluruh komponen pada PCB cetakan dengan tujuan untuk menyambungkan jalur listrik antar komponen agar saling terhubung. Proses penyolderan terdapat pada **Gambar 4.3**.



Gambar 4 . 3 Penyolderan Komponen PCB

Selanjutnya adalah perakitan komponen yang sudah terpasang di PCB cetak untuk dimasukkan ke dalam *project box* yang nantinya akan disambungkan dengan kabel *power* dan kabel JST komponen yang berada di luar box. Proses perakitan dapat dilihat pada **Gambar 4.4.**



Gambar 4 . 4 Perakitan Komponen PCB

4.4.3 Pembuatan Perangkat Mekanik

Setelah proses perancangan selesai dilakukan, tahapan berikutnya adalah pembuatan dan perakitan perangkat mekanik. Tahap ini meliputi pembuatan rangka utama bagian atas (*Trolley* dan *Spreader*), perakitan komponen elektronik, serta pemasangan komponen pendukung yang telah dirancang pada tahap sebelumnya. Seluruh proses dilakukan secara bertahap agar konstruksi prototipe dapat terbentuk sesuai dengan desain yang telah ditetapkan.

Proses pembuatan diawali dengan pemotongan aluminium hollow sesuai dengan ukuran hasil perancangan. Aluminium yang telah dipotong kemudian dirakit menjadi rangka utama bagian atas prototipe RTG *Crane* untuk menopang seluruh komponen *trolley system* termasuk *spreader*. Proses pemotongan aluminium hollow dan perakitan rangka ditunjukkan pada **Gambar 4.5.** dan **Gambar 4.6.**



Gambar 4 . 5 Pemotongan Aluminium Hollow



Gambar 4 . 6 Perakitan Rangka Atas *Gantry Crane*

Selanjutnya, komponen mekanik dan elektronik dipasang pada posisi yang telah ditentukan. Komponen yang dipasang meliputi motor DC geared, trolley, spreader, sensor, serta komponen pendukung lainnya sehingga seluruh mekanisme pergerakan prototipe dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Proses pemasangan komponen pada rangka ditunjukkan pada **Gambar 4.7**.



Gambar 4 . 7 Pemasangan Komponen Pada Rangka

Setelah seluruh komponen terpasang, proses penyambungan kabel dari setiap sensor dan motor menuju panel kontrol dilakukan sesuai dengan wiring diagram yang telah dirancang. Penyambungan dilakukan secara sistematis untuk memastikan seluruh komponen terhubung dengan baik dan dapat dikendalikan oleh mikrokontroler. Proses penyambungan kabel ditunjukkan pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4 . 8 Penyambungan Kabel Antar Komponen

Seluruh sambungan kemudian diperiksa menggunakan multimeter untuk memastikan kontinuitas jalur dan tidak terdapat kesalahan pemasangan maupun hubungan singkat (short circuit). Setelah seluruh komponen dipastikan berfungsi dengan baik, panel kontrol ditutup untuk melindungi rangkaian elektronik dari

gangguan maupun kerusakan selama proses pengoperasian. Hasil akhir pembuatan prototipe Automated RTG Crane ditunjukkan pada **Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.**



Gambar 4 . 9 Hasil Akhir Prototipe Bagian Bawah



Gambar 4 . 10 Hasil Akhir Prototipe Bagian Atas

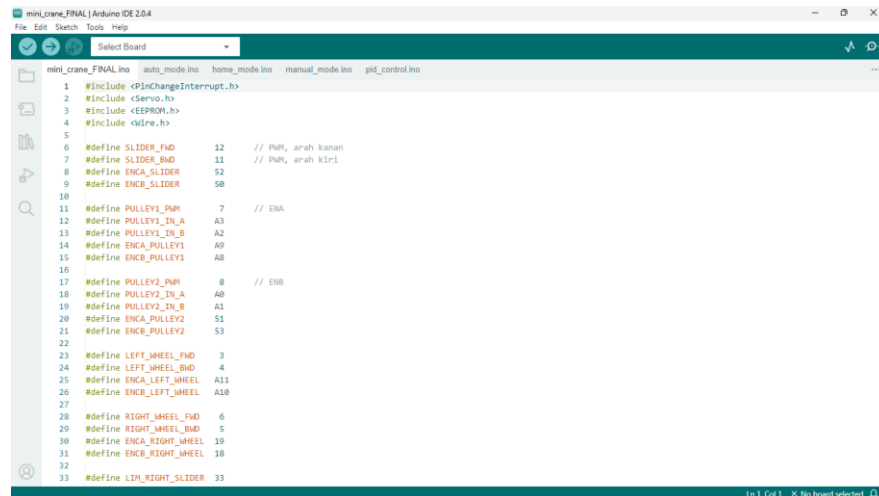
4.2 Pembuatan Perangkat Lunak (*Software*)

Setelah perangkat keras selesai dirakit, tahap selanjutnya adalah pembuatan perangkat lunak yang berfungsi sebagai pengendali seluruh sistem *crane*. Perangkat lunak ini mencakup dua bagian utama, yaitu program pada mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang bertugas mengendalikan seluruh aktuator dan sensor, serta program pada modul Wi-Fi LOLIN S2 Mini yang berfungsi sebagai penghubung antara sistem dengan aplikasi Blynk IoT. Berbeda dengan sistem prototipe sebelumnya yang hanya mengandalkan kendali manual dan otomatis berbasis posisi encoder, perangkat lunak pada penelitian ini ditambahkan modul kendali PID ganda untuk mewujudkan fitur anti-sway, yaitu PID Anti-Tilt untuk menjaga kestabilan kemiringan spreader.

4.2.1 Pemrograman pada Arduino IDE

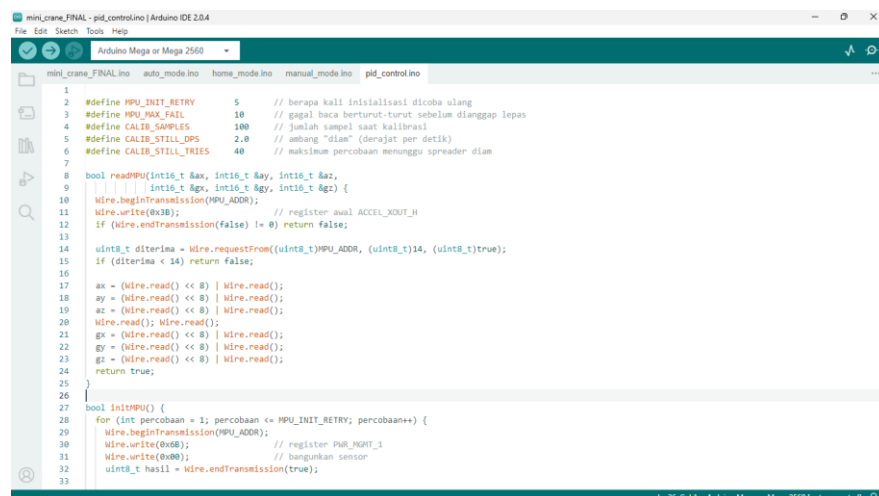
Program pada Arduino Mega 2560 ditambahkan dengan menyambungkan mikrokontroler dengan menggunakan kabel USB ke laptop agar bisa tersambung dengan aplikasi Arduino IDE. Dengan aplikasi ini, kodingan pada program mikrokontroler Arduino Mega 2560 dapat diubah dan ditambahkan modul kendali PID pada file program. Struktur program terdiri atas satu file program utama dan beberapa file pendukung yang saling terhubung.

Program utama berfungsi sebagai pusat kendali sistem, tempat dilakukannya inisialisasi seluruh pin motor, sensor rotary encoder, sensor MPU-6050, limit switch/sensor infrared, serta komunikasi serial menuju modul LOLIN S2 Mini. Pada bagian `setup()`, dilakukan inisialisasi komunikasi I2C untuk sensor MPU-6050 serta kalibrasi awal sudut roll sebagai referensi posisi spreader dalam keadaan seimbang. Pada bagian `loop()`, sistem membaca perintah yang diterima dari aplikasi Blynk melalui modul Wi-Fi, kemudian memanggil fungsi sesuai mode aktif yaitu `manualModeFunction()`, `autoModeFunction()`, atau `homeModeFunction()`. Tampilan program utama ditunjukkan pada **Gambar 4.11 Program Utama Mikrokontroler**.



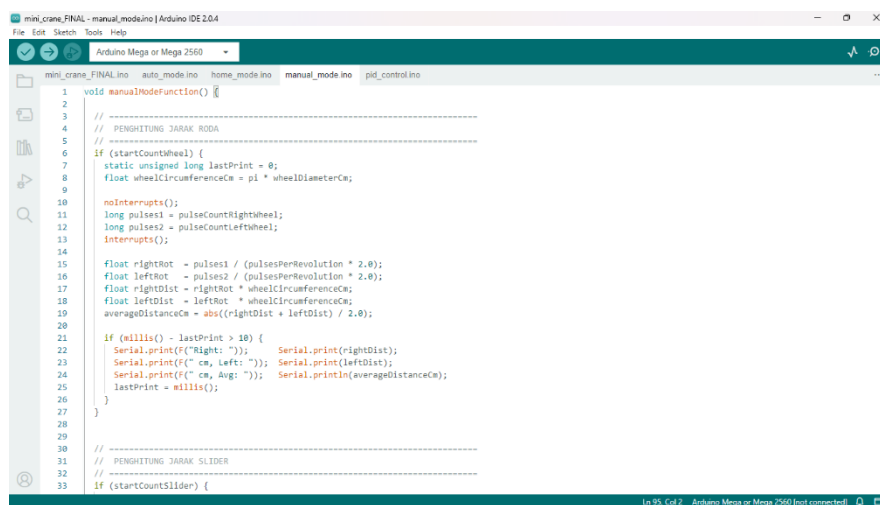
Gambar 4 . 11 Program Utama Mikrokontroler

Berbeda dari sistem prototipe sebelumnya, penelitian ini menambahkan satu file khusus berisi fungsi perhitungan PID Anti-Tilt. Modul ini membaca sudut *roll* dari sensor MPU-6050 yang terpasang pada *spreader*, membandingkannya dengan sudut referensi (posisi seimbang hasil kalibrasi), lalu menghasilkan keluaran berupa selisih kecepatan PWM antara motor pulley kanan dan motor pulley kiri. Selisih PWM inilah yang menjadi koreksi tambahan terhadap kecepatan dasar kedua motor pulley, sehingga *spreader* dapat dijaga tetap sejajar meskipun beban tidak simetris atau salah satu sisi tali tertarik lebih cepat dari sisi lainnya. Potongan program perhitungan PID Anti-Tilt ini dapat dilihat pada **Gambar 4.12 Modul Kendali PID Anti-Tilt**.



Gambar 4 . 12 Modul Kendali PID *Anti-Tilt*

Program mode manual memungkinkan pengguna mengendalikan crane secara langsung melalui aplikasi Blynk, meliputi gerakan maju, mundur, naik, dan turun. Pada mode ini, PID Anti-Tilt tetap aktif berjalan di latar belakang setiap kali perintah naik/turun pulley diberikan, sehingga kemiringan *spreader* tetap terjaga meskipun pergerakan dikendalikan langsung oleh pengguna. Tampilan program mode manual ditunjukkan pada **Gambar 4.13 Program Mode Manual**.



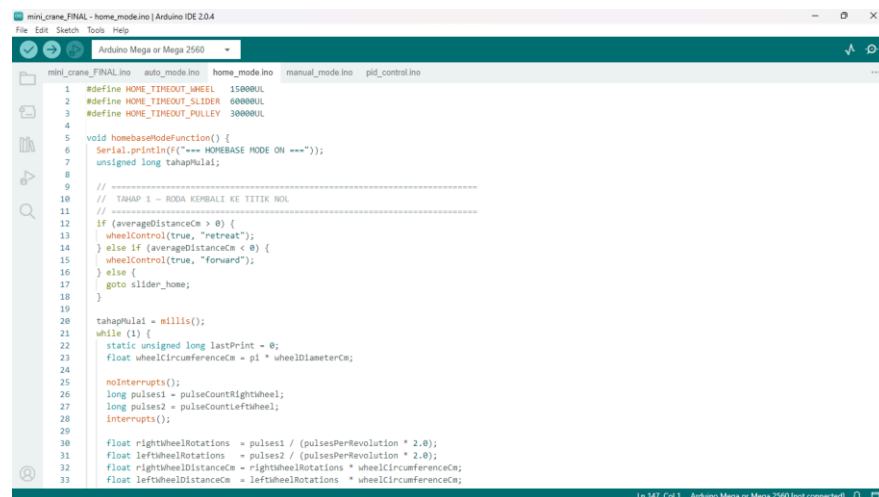
Gambar 4 . 13 Program Mode Manual

Program mode otomatis menjalankan pergerakan crane berdasarkan posisi yang ditentukan menggunakan pembacaan *rotary encoder*. Pada mode ini, PID Anti-Tilt aktif setiap kali pulley bergerak menaikkan atau menurunkan *spreader*, menjaga kedua motor pulley bergerak seimbang sepanjang proses pengangkatan maupun penurunan muatan secara otomatis. Tampilan program mode otomatis ditunjukkan pada **Gambar 4.14 Program Mode Otomatis**.



Gambar 4 . 14 Program Mode Otomatis

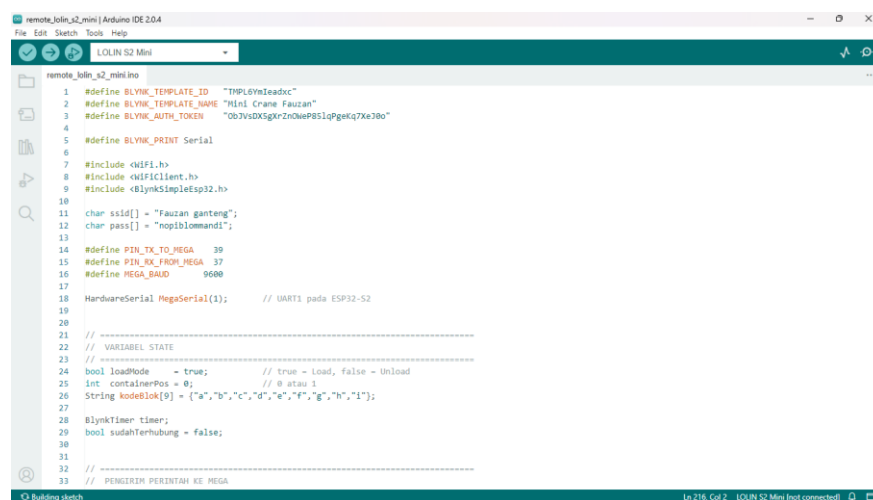
Program mode homebase bertugas mengembalikan seluruh posisi mekanis crane ke titik awal sebelum operasi dimulai, sebagaimana pada sistem kakak tingkat, dengan penyesuaian pada logika pembacaan sensor batas pulley. Tampilan program mode homebase ditunjukkan pada **Gambar 4.15 Program Mode Homebase**.



Gambar 4 . 15 Program Mode Homebase

Modul komunikasi nirkabel pada penelitian ini menggunakan LOLIN S2 Mini berbasis ESP32-S2, menggantikan modul Wemos D1 Mini ESP8266 yang digunakan pada sistem kakak tingkat. Program pada modul ini bertugas menghubungkan sistem ke jaringan Wi-Fi, menjalin komunikasi dengan platform Blynk IoT, serta meneruskan data perintah dan data pemantauan antara aplikasi

Blynk dan Arduino Mega 2560 melalui komunikasi serial (Serial1). Konfigurasi jaringan Wi-Fi dilakukan melalui mode Access Point sementara pada saat modul belum memiliki kredensial Wi-Fi tersimpan, sehingga pengguna dapat memasukkan SSID dan kata sandi jaringan melalui halaman web sederhana yang dihasilkan modul. Setelah tersambung ke jaringan Wi-Fi dan berhasil terautentikasi ke server Blynk IoT, status perangkat pada Blynk Console akan berubah menjadi Online. Tampilan program modul Wi-Fi ini ditunjukkan pada **Gambar 4.16 Program Modul Wi-Fi LOLIN S2 Mini**.



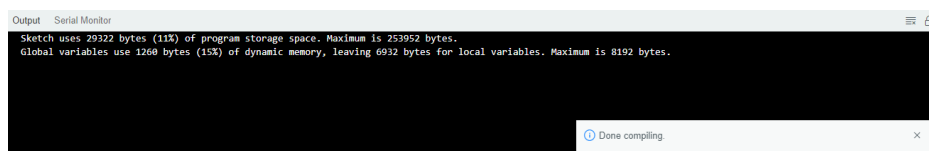
```

1 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL6YmLeadxc"
2 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Mini Crane Fauzan"
3 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "0b7v5dX5grZn0wP85lqPgeKq7Xa30o"
4
5 #define BLYNK_PRINT Serial
6
7 #include <WiFi.h>
8 #include <BlynkClient.h>
9 #include <BlynkSimpleEsp32.h>
10
11 char ssid[] = "Fauzan ganteng";
12 char pass[] = "nopiblomandi";
13
14 #define PIN_TX_TO_MEGA 39
15 #define PIN_RX_FROM_MEGA 37
16 #define MEGA_BAUD 9600
17
18 HardwareSerial MegaSerial(1); // UART1 pada ESP32-S2
19
20
21 // =====
22 // VARIABLE STATE
23 // =====
24 bool loadMode = true; // true - load, false - unload
25 int containerPos = 0; // 0 atau 1
26 String kodeBlok[9] = {"a","b","c","d","e","f","g","h","i"};
27
28 BlynkTimer timer;
29 bool sudahTerhubung = false;
30
31 // =====
32 // PENGIRIM PERINTAH KE MEGA
33 // =====

```

Gambar 4 . 16 Program Modul Wi-Fi LOLIN S2 Mini

Setelah seluruh file program selesai ditulis, dilakukan proses kompilasi melalui tombol "Verify" pada Arduino IDE untuk memeriksa kesalahan sintaksis. Setelah kompilasi berhasil tanpa kesalahan, program diunggah ke mikrokontroler Arduino Mega 2560 melalui tombol "Upload". Tahapan ini ditunjukkan pada **Gambar 4.17 Proses Kompilasi dan Unggah Program**.



```

Output Serial Monitor
Sketch uses 29322 bytes (11%) of program storage space. Maximum is 253952 bytes.
Global variables use 1260 bytes (15%) of dynamic memory, leaving 6932 bytes for local variables. Maximum is 8192 bytes.
Done compiling

```

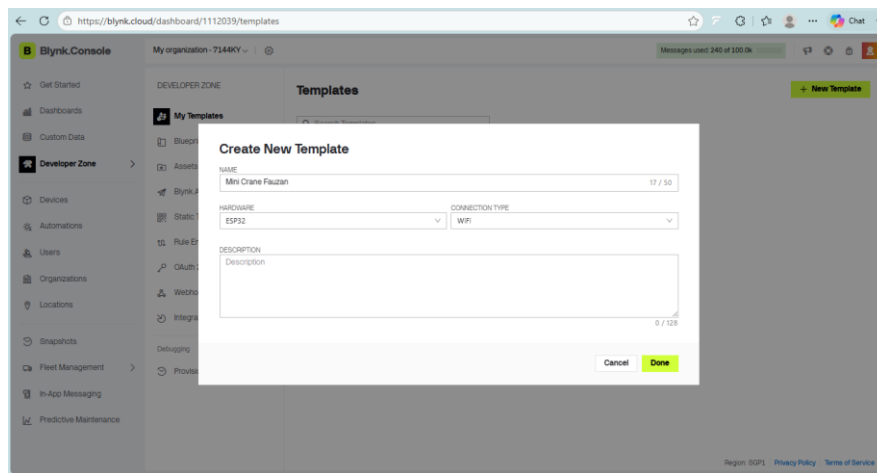
Gambar 4 . 17 Proses Kompilasi dan Unggah Program

4.2.2 Pembuatan Konfigurasi

Konfigurasi pada aplikasi Blynk dilakukan untuk membangun *interface* kendali jarak jauh. Berbeda dengan sistem prototipe sebelumnya yang

menggunakan server Blynk Legacy, penelitian ini menggunakan platform Blynk IoT (blynk.cloud).

Pengguna terlebih dahulu melakukan login atau registrasi pada platform Blynk IoT melalui laman blynk.cloud. Setelah berhasil masuk, dibuat sebuah template baru dengan memilih "New Template", kemudian ditentukan nama perangkat serta jenis koneksi Wi-Fi, karena mikrokontroler yang digunakan sebagai perantara komunikasi adalah LOLIN S2 Mini berbasis ESP32-S2. Tampilan pembuatan template ditunjukkan pada **Gambar 4.18 Pembuatan Template Baru pada Blynk IoT**.



Gambar 4 . 18 Pembuatan *Template* Baru Pada Blynk IoT

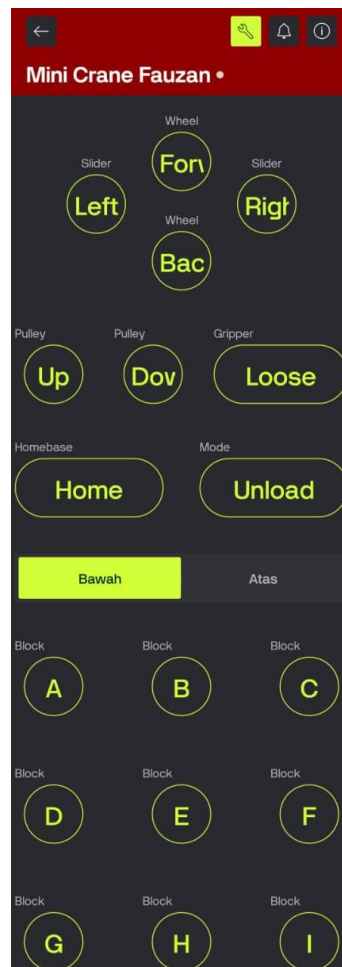
Pada Blynk IoT, setiap variabel yang dikirim atau diterima harus didaftarkan terlebih dahulu sebagai datastream pada tab "Datastreams", lengkap dengan jenis data (integer, boolean, atau string) dan nomor virtual pin (V-pin). Datastream yang dibuat mencakup perintah gerak manual (maju, mundur, naik, turun, gripper), pemilihan mode operasi, serta datastream pemantauan sudut kemiringan spreader (roll) hasil pembacaan PID Anti-Tilt yang dikirim balik ke aplikasi. Rincian datastream yang digunakan disajikan pada **Tabel 4 - 3**.

Tabel 4 - 3 *Datastream* Virtual Pin Blynk

Pin	Nama	Widget	Fungsi
V1	Wheel_forward	Push button	Roda maju
V2	Wheel_retreat	Push button	Roda mundur

Pin	Nama	Widget	Fungsi
V3	Slider_left	Push button	Slider ke kiri
V4	Slider_right	Push button	Slider ke kanan
V5	Pulley_up	Push button	Pulley naik
V6	Pulley_down	Push button	Pulley turun
V7	Gripper	Switch	<i>Grip/Ungrip</i>
V8	Homebase	Push button	Tombol Home
V9	Load_mode	Switch	Mode <i>Load/Unload</i>
V10	Container_pos	Segmented switch	Posisi <i>Top/Bottom</i>
V11	Block_a	Push button	Tombol auto blok A
V12	Block_b	Push button	Tombol auto blok B
V13	Block_c	Push button	Tombol auto blok C
V14	Block_d	Push button	Tombol auto blok D
V15	Block_e	Push button	Tombol auto blok E
V16	Block_f	Push button	Tombol auto blok F
V17	Block_g	Push button	Tombol auto blok G
V18	Block_h	Push button	Tombol auto blok H
V19	Block_i	Push button	Tombol auto blok I

Setelah datastream dibuat, tampilan antarmuka disusun melalui "Web Dashboard" (untuk pengaturan) dan disinkronkan ke aplikasi mobile Blynk. Widget yang digunakan meliputi Button untuk perintah gerak manual, Switch untuk pemilihan mode, serta Gauge atau Level Display untuk menampilkan nilai sudut kemiringan spreader secara real-time sebagai indikator visual kerja PID Anti-Tilt. Tampilan widget yang telah disusun ditunjukkan pada **Gambar 4.19 Tampilan Widget Blynk IoT**.



Gambar 4 . 19 Tampilan *Widget* Blynk IoT

Auth Token yang diperoleh dari Blynk IoT bersifat rahasia dan digunakan dalam kode program untuk menghubungkan modul LOLIN S2 Mini dengan akun Blynk. Token ini disimpan dalam bentuk macro `BLYNK_AUTH_TOKEN` pada program dan tidak disertakan secara terbuka pada dokumentasi maupun lampiran laporan.