BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan diuraikan mengenai proses pengujian dan analisa dari sistem yang telah dirancang. Pengujian yang akan dilakukan meliputi pengukuran terhadap parameter-parameter dari setiap komponen-komponen penunjang dari sistem baik pengujian setiap bagian maupun secara komprehensif. Adapun pengujian yang akan dilakukan meliputi: pengujian PWM pada motor DC, pengujian aktuator, pengujian LCD, pengujian sensor ultrasonik, pengujian komunikasi serial, pengujian *tuning* Kendali PID dan pengujian sistem secara keseluruhan yaitu pengujian robot mengikuti dinding kanan dan dinding kiri.

4.1 Pengujian PWM Sebagai Pengatur Kecepatan Motor DC

Pada pengujian ini akan dijelaskan mengenai pengaruh sinyal PWM terhadap perubahan kecepatan motor DC. Pengujian PWM bertujuan untuk mengetahui apakah program pengatur kecepatan motor DC yang telah dibuat dapat mengatur motor DC. Metode pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai *duty cycle* PWM secara bertahap mulai dari nilai terkecil sampai terbesar dan mengamati hasilnya langsung dan menentukan tegangan keluaran sesuai dengan *duty cycle* yang diberikan. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran langsung dengan alat ukur multimeter dengan hasil perhitungan. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali, dengan V_{FULL} 12V, *duty cycle* PWM 10%, 20%, 30% sampai 100%.

Tabel 4.1 Pengujian PWM Pada Motor DC

Pengujian ke-	V_{FULL} (Volt)	Duty Cycle PWM (%)	V_{OUT} (Volt)	
			Hasil Pengukuran	Hasil Perhitungan
1	12	10	1	1,2
2		20	2	2,4
3		30	3	3,6
4		40	4	4,8
5		50	5	6
6		60	6	7,2
7		70	7	8,4
8		80	8	9,6
9		90	9	10,8
10		100	10	12

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin besar *duty cycle* pada sinyal PWM yang diberikan, maka tegangan yang masuk ke motor akan semakin besar. Dari data tersebut terbukti bahwa putaran motor menjadi semakin cepat. Begitu juga sebaliknya semakin kecil *duty cycle* pada sinyal PWM yang diberikan, makan tegangan yang masuk ke motor semakin kecil. Dari data tersebut terbukti bahwa putaran motor akan semakin lambat.

4.2 Pengujian Aktuator

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah *driver* motor yang telah dirancang mampu meneruskan perintah dari mikrokontroler untuk mengendalikan arah putaran motor. *Driver* motor yang digunakan adalah rangkian *H-bridge* yang dikonstruksi oleh MOSFET. Dengan memberikan logika yang tepat akan menentukan arah putaran motor. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan masukan yang sama untuk kedua motor, kemudian mengamati langsung hasilnya. Hasil dari pengujian arah putaran motor DC ditunjukkan oleh tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Arah Putaran Motor DC

Motor Kanan	Motor Kiri	Arah Putaran	
		Motor Kanan	Motor Kiri
High	High	Searah jarum jam	Searah jarum jam
Low	Low	Berlawanan jarum jam	Berlawanan jarum jam
Low	High	Berlawanan jarum jam	Searah jarum jam
High	Low	Searah Jarum Jam	Berlawanan jarum jam

4.3 Pengujian LCD

Pengujian LCD bertujuan untuk mengetahui apakah LCD mampu menampilkan dengan baik setiap perintah yang ingin ditampilkan di LCD. Pengujian dilakukan dengan cara membuat karakter dan mengkombinasikannya pada berbagai posisi. Hasil dari pengujian LCD ditunjukkan oleh gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil Pengujian LCD

4.4 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi jarak objek atau halangan dan untuk mengetahui tingkat ketelitian (*accuracy*) dari sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur posisi jarak robot terhadap dinding. Untuk memperoleh pengukuran yang tepat, dilakukan pengujian sebanyak 20 kali dengan tingkat pengukuran mulai dari jarak dekat, jarak sedang dan jarak jauh dengan objek pengukuran berupa bidang datar. Hasil pengujian ditampilkan pada layar LCD. Untuk mengetahui ketepatan

pembacaan sensor, akan dibandingkan dengan jarak yang sebenarnya sebagai pembanding antara hasil pengukuran sensor dengan jarak yang sebenarnya. Berikut hasil pengujian dari ketiga sensor ultrasonik yang digunakan.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik dengan Jarak Sebenarnya

Pengujian ke-	Jarak Sebenarnya (cm)	Tampilan Jarak di LCD (cm)		
		Sensor Ultrasonik A	Sensor Ultrasonik B	Sensor Ultrasonik C
1	5	5,1	5,1	5,1
2	6	5,9	5,9	5,8
3	7	7,1	6,8	7,2
4	8	8,1	8,1	7,8
5	9	8,9	9,2	9,1
6	10	10,3	10,2	10,2
7	12	12,2	12,2	12,2
8	15	15,1	14,9	14,9
9	16	16	15,8	16,2
10	17	17,2	17,1	17,2
11	18	18	18,1	18,2
12	19	18,8	19,1	19
13	20	20,1	20	19,9
14	30	30,3	29,8	30,2
15	40	40,1	40	40,1
16	50	50,2	50,1	50,3
17	60	60,2	60,1	60,2
18	70	69,9	69,8	70,1
19	80	80,2	80,1	80,3
20	100	100,3	99,8	100,2

Dari hasil pengukuran di atas dapat diperoleh:

1. Deviasi terhadap jarak sebenarnya

   Untuk mengetahui deviasi (penyimpangan) terhadap jarak sebenarnya, cara yang dilakukan adalah dengan mengurangi jarak sebenarnya dengan jarak yang terukur oleh sensor. Berikut hasil perhitungan deviasi untuk setiap sensor:

- Deviasi dan Penyimpangan rata-rata Sensor Ultrasonik A

Berikut proses penentuan deviasi masing-masing pengukuran sensor ultrasonik A:

$d_1 = 5 - 5{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_2 = 6 - 5{,}9 = 0{,}1$ cm
$d_3 = 7 - 7{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_4 = 8 - 8{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_5 = 9 - 8{,}9 = 0{,}1$ cm
$d_6 = 10 - 10{,}3 = -0{,}3$ cm
$d_7 = 12 - 12{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_8 = 15 - 15{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_9 = 16 - 16 = 0$ cm
$d_{10} = 17 - 17{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{11} = 18 - 18 = 0$ cm
$d_{12} = 19 - 18{,}8 = -0{,}2$ cm
$d_{13} = 20 - 20{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_{14} = 30 - 30{,}3 = -0{,}3$ cm
$d_{15} = 40 - 40{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_{16} = 50 - 50{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{17} = 60 - 60{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{18} = 70 - 69{,}9 = 0{,}1$ cm
$d_{19} = 80 - 80{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{20} = 100 - 100{,}3 = -0{,}3$ cm

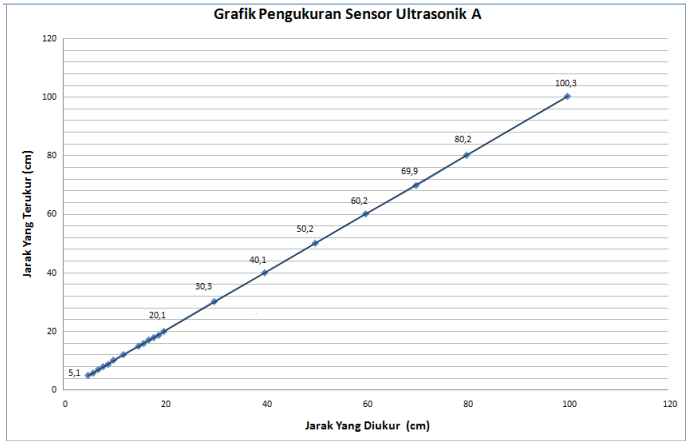
Dari penyimpangan pengukuran yang telah di dapat, maka dapat ditentukan penyimpangan rata-ratanya yang diperoleh dengan cara menjumlahkan nilai-nilai mutlak dari penyimpangan dibagi dengan jumlah pembacaan.

$$D = \frac{0{,}1+0{,}1+0{,}1+0{,}1+0{,}1+0{,}3+0{,}2+0{,}1+0+0{,}2+0+0{,}2+0{,}1+0{,}3+0{,}1+0{,}2+0{,}2+0{,}1+0{,}2+0{,}3}{20}$$

$= 0.15$ cm

Dari hasil perhitungan deviasi rata-rata untuk sensor ultrasonik A diperoleh deviasi rata-rata sebesar 0.15 cm.

Adapun tampilan grafik dari hasil pengukuran sensor A ditunjukkan oleh gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Sensor Ultrasonik A

- Deviasi dan Penyimpangan rata-rata Sensor Ultrasonik B

  Berikut proses penentuan deviasi masing-masing pengukuran sensor ultrasonik B:

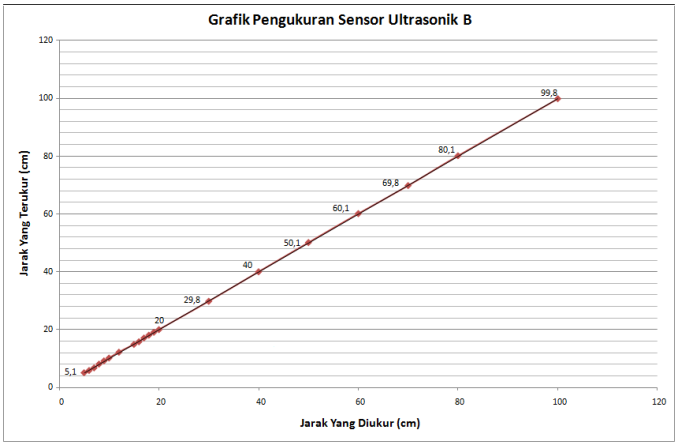
$$d_1 = 5 - 5{,}1 = -0{,}1 \text{ cm} \qquad d_{11} = 18 - 18{,}1 = -0{,}1 \text{ cm}$$
$$d_2 = 6 - 5{,}9 = 0{,}1 \text{ cm} \qquad d_{12} = 19 - 19{,}1 = -0{,}1 \text{ cm}$$
$$d_3 = 7 - 6{,}8 = 0{,}2 \text{ cm} \qquad d_{13} = 20 - 20 = 0 \text{ cm}$$
$$d_4 = 8 - 8{,}1 = -0{,}1 \text{ cm} \qquad d_{14} = 30 - 29{,}8 = 0{,}1 \text{ cm}$$
$$d_5 = 9 - 9{,}2 = -0{,}2 \text{ cm} \qquad d_{15} = 40 - 40 = 0 \text{ cm}$$
$$d_6 = 10 - 10{,}2 = -0{,}2 \text{ cm} \qquad d_{16} = 50 - 50{,}1 = -0{,}1 \text{ cm}$$
$$d_7 = 12 - 12{,}2 = -0{,}2 \text{ cm} \qquad d_{17} = 60 - 60{,}1 = -0{,}1 \text{ cm}$$
$$d_8 = 15 - 14{,}9 = 0{,}1 \text{ cm} \qquad d_{18} = 70 - 69{,}8 = 0{,}2 \text{ cm}$$
$$d_9 = 16 - 15{,}8 = 0{,}2 \text{ cm} \qquad d_{19} = 80 - 80{,}1 = -0{,}1 \text{ cm}$$
$$d_{10} = 17 - 17{,}1 = -0{,}1 \text{ cm} \qquad d_{20} = 100 - 99{,}8 = 0{,}2 \text{ cm}$$

  Dari penyimpangan pengukuran yang telah di dapat, maka dapat ditentukan peyimpangan rata-ratanya:

$$D = \frac{0{,}1+0{,}1+0{,}2+0{,}1+0{,}2+0{,}2+0{,}2+0{,}1+0{,}2+0{,}1+0{,}1+0{,}1+0+0{,}1+0+0{,}1+0{,}1+0{,}2+0{,}1+0{,}2}{20}$$

$$= 0.125 \text{ cm}$$

Adapun tampilan grafik dari hasil pengukuran sensor B ditunjukkan oleh gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Sensor Ultrasonik B

- Sensor Ultrasonik C

  Berikut proses penentuan deviasi masing-masing pengukuran sensor ultrasonik C:

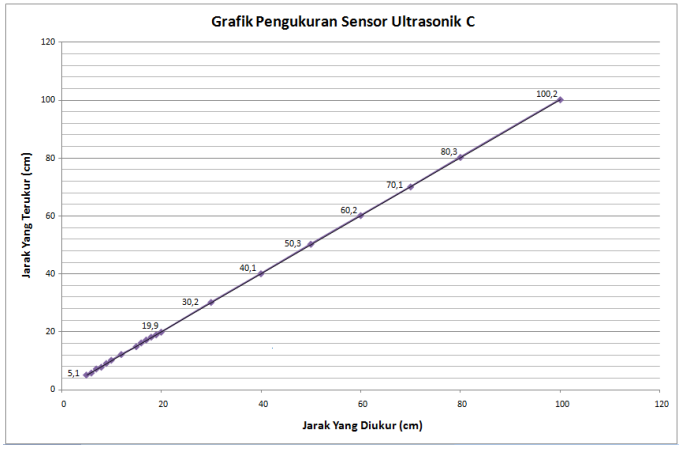
$d_1 = 5 - 5{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_2 = 6 - 5{,}8 = 0{,}2$ cm
$d_3 = 7 - 7{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_4 = 8 - 7{,}8 = 0{,}2$ cm
$d_5 = 9 - 9{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_6 = 10 - 10{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_7 = 12 - 12{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_8 = 15 - 14{,}9 = 0{,}1$ cm
$d_9 = 16 - 16{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{10} = 17 - 17{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{11} = 18 - 18{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{12} = 19 - 19 = 0$ cm
$d_{13} = 20 - 19{,}9 = 0{,}1$ cm
$d_{14} = 30 - 30{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{15} = 40 - 40{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_{16} = 50 - 50{,}3 = -0{,}3$ cm
$d_{17} = 60 - 60{,}2 = -0{,}2$ cm
$d_{18} = 70 - 70{,}1 = -0{,}1$ cm
$d_{19} = 80 - 80{,}3 = -0{,}3$ cm
$d_{20} = 100 - 100{,}2 = -0{,}2$ cm

  Dari penyimpangan pengukuran yang telah di dapat, maka dapat ditentukan peyimpangan rata-ratanya:

$$D = \frac{0{,}1+0{,}2+0{,}2+0{,}2+0{,}1+0{,}2+0{,}2+0{,}1+0{,}2+0{,}2+0{,}2+0+0{,}1+0{,}2+0{,}1+0{,}3+0{,}2+0{,}1+0{,}3+0{,}2}{20}$$

  = 0.17 cm

Adapun tampilan grafik dari hasil pengukuran sensor C ditunjukkan oleh gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Sensor Ultrasonik C

Dari hasil pengujian sensor ultrasonik dapat diperoleh hasil peyimpangan rata-rata untuk sensor ultrasoni A sebesar 0.15 cm, sensor ultrasonik B sebesar

0.125 cm dan sensor ultrasonik C sebesar 0.17 cm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kemampuan masing-masing sensor ultrasonik dalam melakukan pengukuran selalu mendekati dengan jarak sebenarnya, dengan hanya memiliki rata-rata kesalahan yang kecil untuk setiap pengurukuran.

4.5 Pengujian Komunikasi Serial

Salah satu tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk membuat sebuah aplikasi menggunakan *software* LabVIEW agar data seperti data jarak robot ketika bergerak dapat ditampilkan di aplikasi dalam bentuk grafik. Tujuannya adalah untuk mengetahui apakah hasil *tuning* kendali PID yang telah dilakukan sesuai dengan yang diharapkan. Salah satu media yang dapat digunakan untuk menjembatani komunikasi antara robot dengan laptop adalah perangkat Bluetooth. Modul Bluetooth yang dipilih adalah tipe HC-05 karena tipe ini memiliki keunggulan yaitu *mode* kerja yang dapat diatur, yaitu dapat difungsikan sebagai *master* maupun *slave*. Untuk dapat mengirimkan data serial, pada robot dipasang modul bluetooh *slave* dan pada laptop dipasang adapter bluetooth.

Sebelum dapat menampilkan data serial pada aplikasi yang telah dibuat, harus dilakukan pengaturan terlebih dahulu, diantaranya: mencari perangkat, melakukan *pair*, menyesuaikan *password*, dan menguhubungkan bluetooth serial port.

1. Mencari Perangkat

Tahap awal dalam menampilkan data pada laptop adalah mencari perangkat bluetooth yang akan dihubungkan dengan laptop. Laptop yang telah dipasangi adapter kemudian akan mencari setiap perangkat bluetooth yang aktif dalam jarak jangkauannya. Ketika power robot “ON” maka secara otomatis modul bluetooth

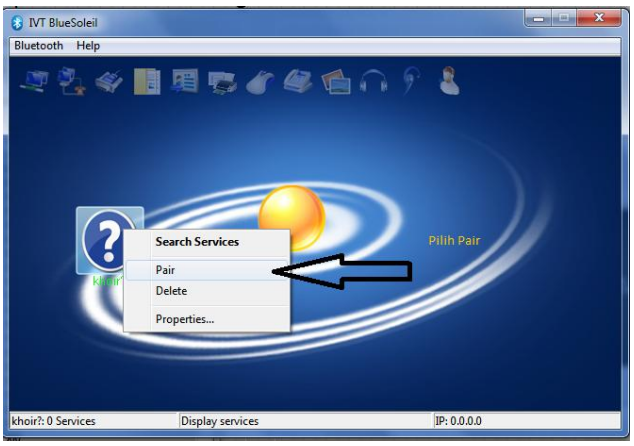
dalam keadaan aktif. Begitu juga sebaliknya, jika power robot “OFF” maka modul Bluetooth tidak akan aktif.



Gambar 4.5 Mencari Perangkat Bluetooth

2. Melakukan *Pair*

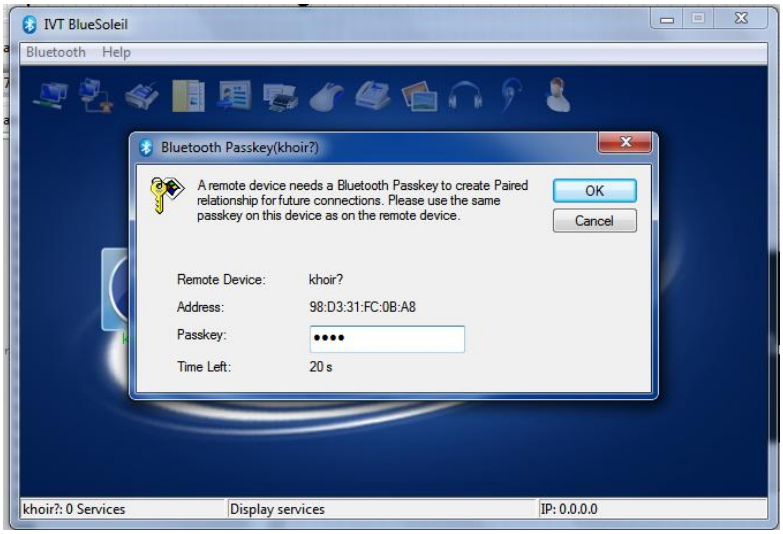
Setelah perangkat bluetooth terdeteksi, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan *pair*. Fungsi dari *pair* ini adalah untuk mengurangi resiko perangkat yang tidak diizinkan melakukan transfer data yang tidak diinginkan. Transfer data tanpa melawati proses *pair* cenderung sulit karena sistem menolak dan menyatakan data yang dikirim dinyatakan tidak aman. Jadi *pair* ini bisa dikatakan sebagai sebuah sistem proteksi dalam proses transfer data.



Gambar 4.6 Melakukan *Pair* dengan Perangkat yang Terdeteksi

3. Menyesuaikan *Password*

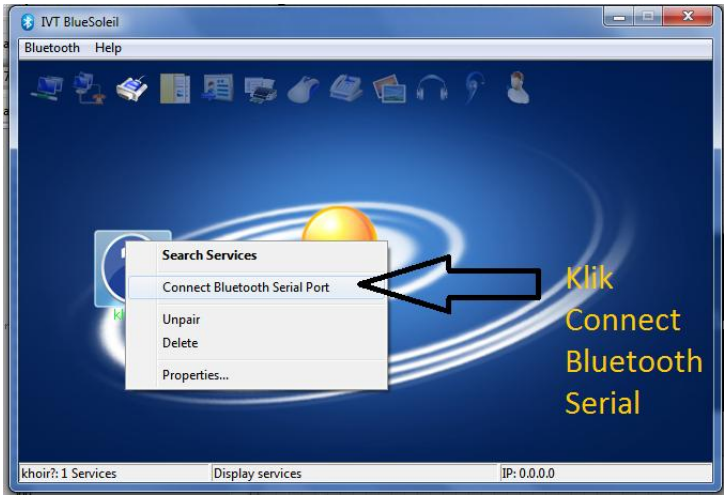
Untuk dapat melakukan proses *pair*, langkah selanjutnya adalah memasukkan *password* yang telah ditentukan. Ketika melakukan transfer data, *password* dibutuhkan untuk memastikan bahwa perangkat terproteksi dari transfer data yang tidak diinginkan. Proses memasukkan *password* ditunjukkan oleh gambar 4.7.



Gambar 4.7 Memasukkan *Password*

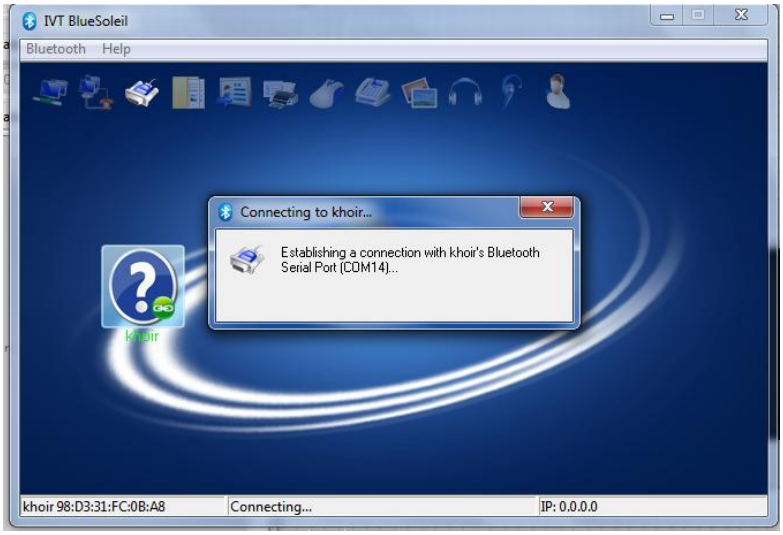
4. Menghubungkan Bluetooth Serial

Langkah terakhir dalam proses komunikasi serial antara robot dengan laptop adalah melakukan perintah untuk menghubungkan modul Bluetooth pada robot dengan laptop.

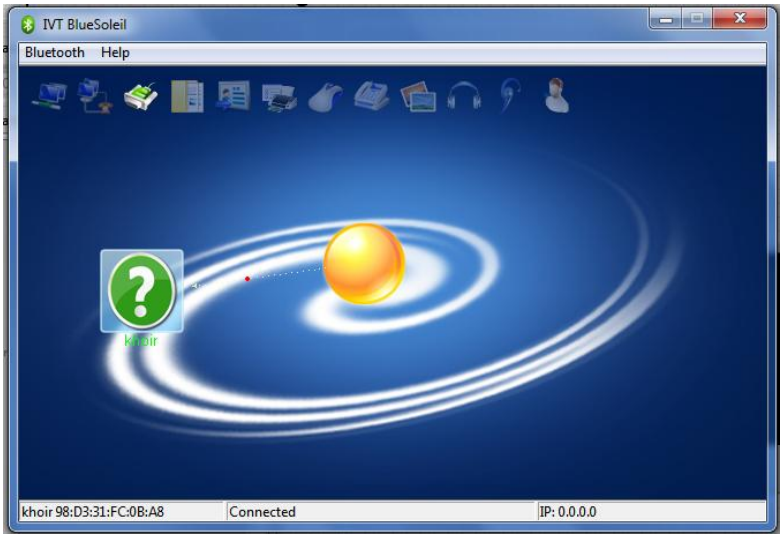


Gambar 4.8 Menghubungkan Perangkat yang Terdeteksi

Untuk dapat menghubungkan modul bluetooth pada robot dengan robot dengan memilih "Connect Bluetooth Serial Port" seperti ditunjukkan pada gambar di atas. Proses koneksi ditunjukkan oleh gambar 4.9.

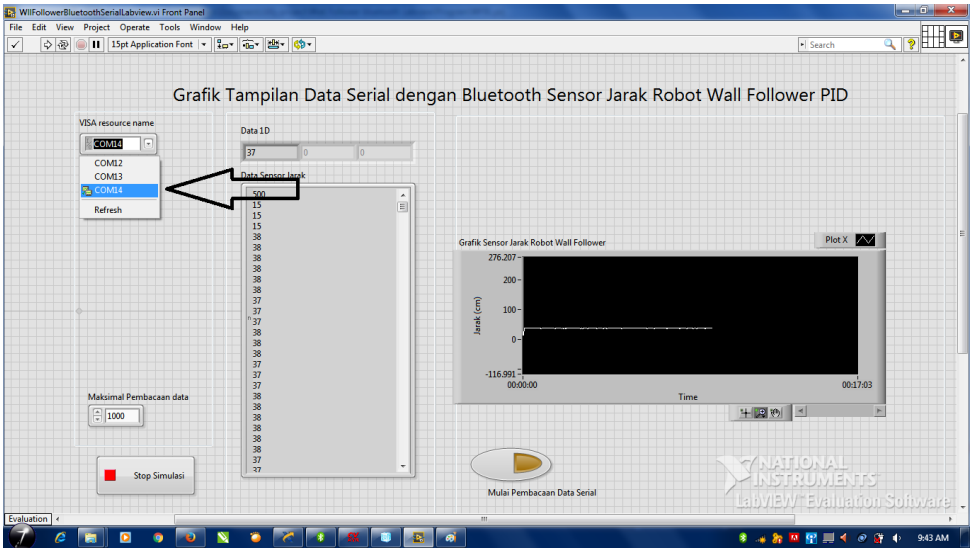


Gambar 4.9 Proses Penghubungan



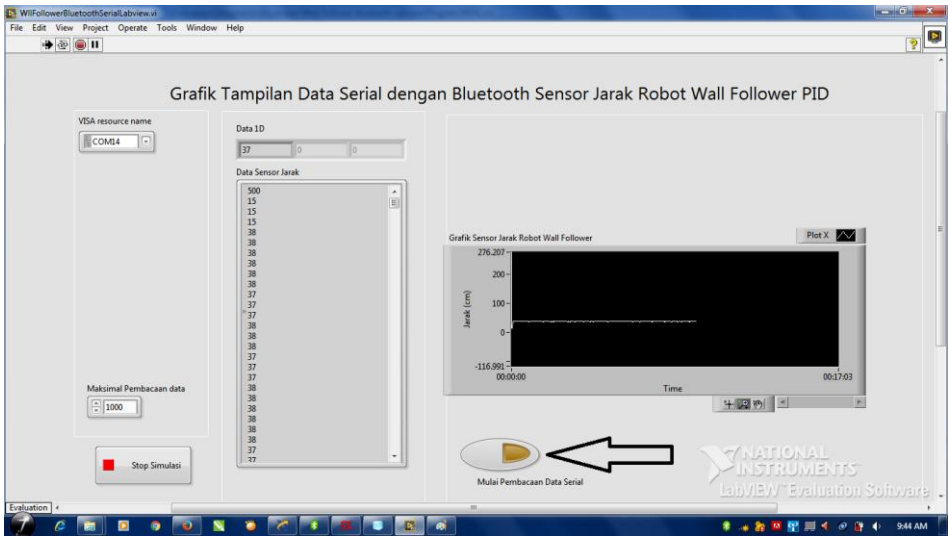
Gambar 4.10 Robot dan Laptop sudah Terhubung

Pada gambar di atas, robot dan laptop sudah terhubung yang ditandai oleh garis penghubung putus-putus yang ditengahnya terdapat tanda merah. Proses tersebut tidak dapat langsung menampilkan data pada aplikasi yang telah dibuat dan harus ada pengaturan yang dilakukan pada aplikasi untuk menampilkan data serial diantaranya melakukan pemilihan jalur komunikasi sesuai dengan yang terdeteksi dan sesuai dengan laptop.



Gambar 4.11 Proses menampilkan Data Serial

Pada gambar di atas terlihat bahwa untuk menampilkan data serial dalam bentuk grafik, terlebih dahulu dilakukan pengaturan "Visa Resource Name". Pengaturan ini berfungsi untuk mengatur jalur komunikasi yang akan digunakan. Pembacaan data serial ditunjukkan oleh gambar 4.12.



Gambar 4.12 Tampilan Pembacaan Data Serial Mode Run

4.6 Pengujian *Tuning* Kendali PID

Dalam penelitian ini robot harus memiliki kemampuan bergerak secara otomatis, artinya dapat bergerak sesuai dengan lintasan yang telah ditentukan tanpa bantuan dari manusia secara berkelanjutan. Untuk dapat bergerak secara otomatis dibutuhkan pengendali yang tepat agar kemampuan robot dalam menjaga jarak dengan dinding tetap konstan sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan, pergerakannya stabil, aman dan responsif. Oleh karena itu sistem kendali lup tertutup (*closed loop control system*) merupakan sistem pengendali yang tepat untuk diterapkan pada robot. Karena pada sistem ini keluaran dari pengontrol akan mempengaruhi aksil pengontrolan. Pengendali yang digunakan adalah Kendali Proporsional, Integral dan Derivatif (Kendali PID). Tujuan penerapan

Kendali PID ini adalah untuk mengolah sinyal kesalahan (*error*) yang dibaca oleh sensor, sinyal *error* tersebut diumpankan ke pengendali untuk diolah oleh formula PID menjadi sinyal kendali, dan keluaran dari pengendali akan diteruskan ke aktuator.

Untuk menggunakan Kendali PID, terlebih dahulu harus ditentukan konstanta parameter melalui proses penalaan (*Tuning*). *Tuning* ini bertujuan untuk menentukan parameter aksi kontrol PID. Proses *Tuning* yang dilakukan menggunakan metode *trial and error*, yaitu proses pencarian konstanta yang dilakukan dengan cara melakukan percobaan berkali-kali sampai ditemukan hasil yang sesuai harapan dan tentunya mengacu pada karakteristik masing-masing pengendali. Sebagai tahap awal, proses *Tuning* hanya melibatkan Kendali Proporsional. Pemberian Kp akan terus ditambahkan sampai diperoleh hasil sampai robot stabil namun masih berosilasi. Hasil pengujian Kendali Proposional ditunjukkan pada tabel 4.4.

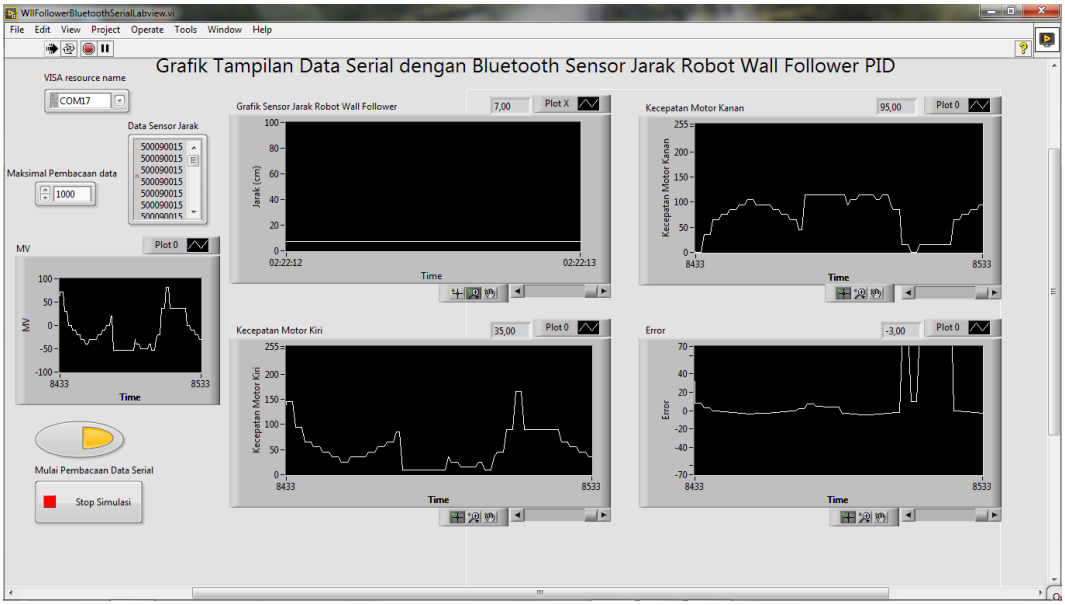
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kendali Proporsional

Kp	Ki	Kd	Kondisi Robot
2	0	0	Pergerakan robot lambat dan robot tidak stabil
6	0	0	Pergerakan robot meningkat, dan masih tidak stabil
10	**0**	**0**	**Pergerakan robot terlihat cepat, stabil namun masih berosilasi**
15	0	0	Pergerakan robot terlihat cepat, dan osilasi meningkat
24	0	0	Robot tidak stabil dan osilasi berlebihan

Dari hasil pengujian Kendali Proporsional diperoleh hasil pergerakan robot cepat, stabil dan masih berosilasi yaitu pada pemberian konstanta Kp 10. Pemberian konstanta Kp yang kecil respon robot terlihat lambat dan tidak stabil. Begitu juga dengan pemberian konstanta Kp yang berlebihan dapat

mengakibatkan pergerakan robot tidak stabil dan osilasi menjadi tinggi. Dengan demikian Kendali Proporsional belum mampu membuat pergerakan robot menjadi stabil, dan hanya berfungsi sebagai *gain* (penguat) saja tanpa memberikan efek dinamik berupa kestabilan gerak pada robot. Dari tabel hasil pengujian Kendali Proporsional terlihat bahwa nilai yang didapat tidak berurutan, ini dikarenakan pada interval nilai tertentu respon robot tidak mengalami perubahan yang signifikan. Sebagai contoh ketika pengujian dengan konstanta Kp 2, respon robot terlihat lambat dan tidak stabil. Kondisi tersebut terjadi sampai pemberian konstanta Kp 5. Baru ketika pemberian konstanta Kp 6, respon robot mengalami perubahan yang cukup signifikan dibanding pengujian ketika konstanta Kp 2 sampai 6.

Grafik dari hasil *tuning* Kendali Proporsional ditunjukkan oleh gambar 4.13. Pada setiap proses *tuning* parameter konstanta PID, aplikasi menampilkan data pembacaan sensor jarak, kecepatan motor kanan, kecepatan motor kiri dan MV. Dari grafik hasil *tuning* diperoleh hasil bahwa Kendali Proporsional belum mampu membuat pergerakan robot stabil, seperti yang ditunjukkan pada grafik respon *error* yang dihasilkan fluktuatif.



Gambar 4.13 Grafik Respon Hasil *Tuning* Kendali Proporsional

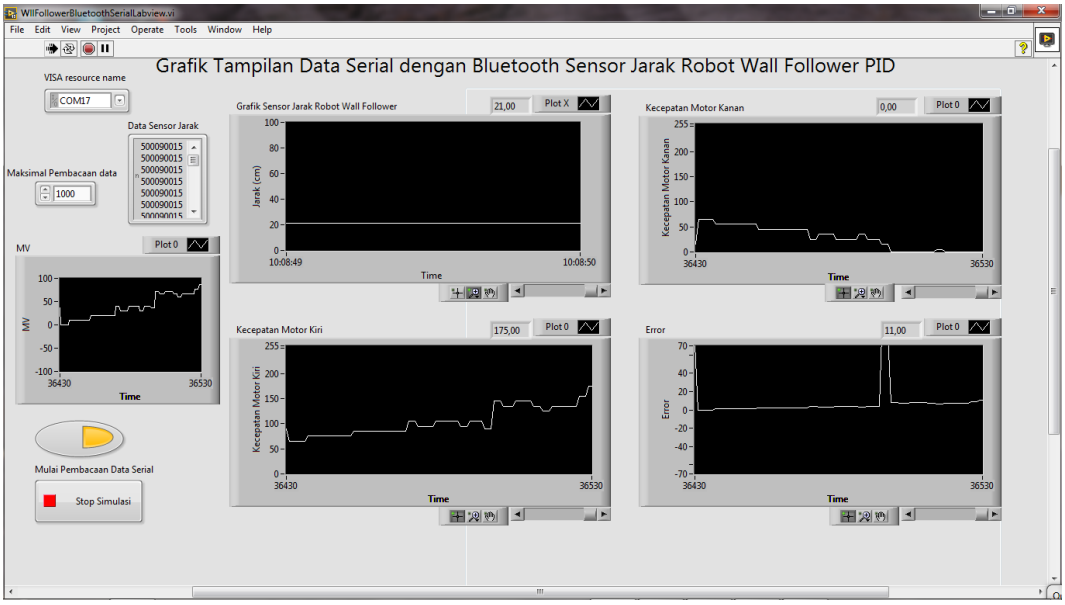
Setelah didapatkan konstanta Kp dengan keadaan robot stabil namun masih berosilasi, langkah selanjutnya adalah mencari konstanta Kd. Kd berfungsi untuk membuat pergerakan robot menjadi stabil karena Kd berfungsi untuk meredam osilasi. Hasil Pengujian Kendali Proporsional dan Derivatif ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kendali Proporsional dan Derivatif

Kp	Ki	Kd	Kondisi Robot
10	0	20	Pergerakan robot terlihat lambat, osilasi rendah dan tidak stabil
10	0	40	Respon robot terlihat cepat namun masih berosilasi
10	**0**	**67**	**Respon robot terlihat cepat, osilasi berkurang dan lebih stabil**
10	0	75	Respon robot berkurang, dan masih stabil
10	0	100	Respon robot lambat dan stabil

Dari hasil pengujian Kendali Proporsional dan Derivatif diperoleh hasil bahwa Kendali Derivatif mampu meredam osilasi yang dihasilkan oleh Kendali Proporsional, membuat pergerakan robot lebih cepat dan stabil. Namun pemberian

konstanta Kd yang tidak tepat pada beberapa kondisi menunjukkan respon robot lambat namun terlihat masih stabil.



Gambar 4.14 Grafik Respon Hasil *Tuning* Kendali Proporsional dan Derivatif

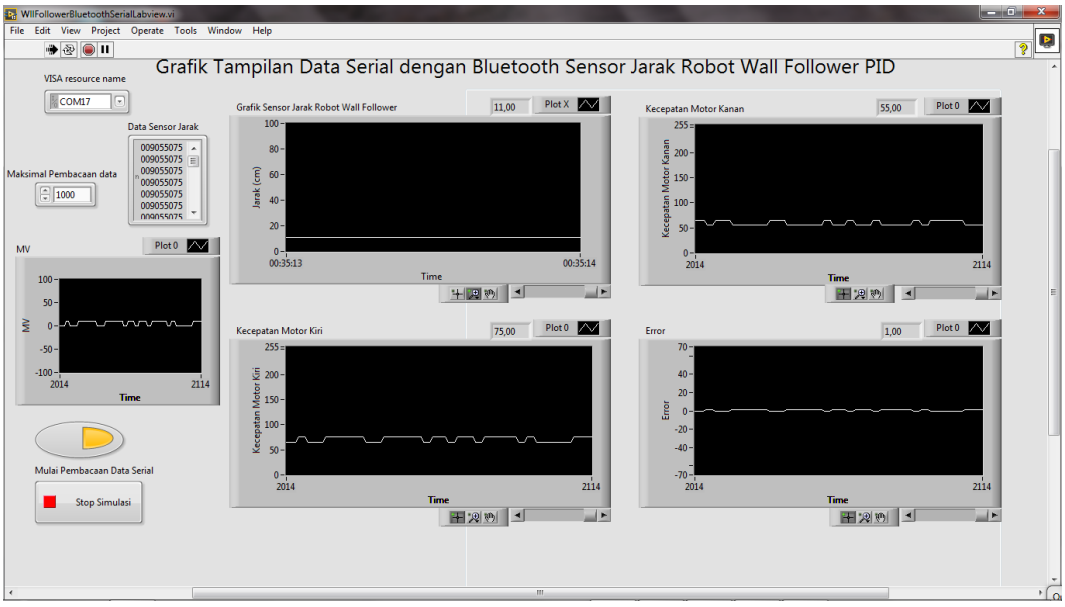
Dari hasil *tuning* pada Kendali Proporsional dan Derivatif sudah cukup mampu membuat robot stabil dalam artian gabungan konstanta Kp dan Kd telah mampu membuat robot mempertahankan jaraknya dengan dinding sesuai dengan *set point*.

Penggunaan dari Kendali Integral untuk menghilangkan kesalahan keadaan mantap, yaitu suatu kondisi dimana pengendali telah mampu memberikan kestabilan gerak namun pergerakannya belum mencapai nilai atau parameter yang telah ditentukan. Hasil pengujian Kendali Proporsional, Integral dan Derivatif ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kendali Proporsional, Integral dan Derivatif

Kp	Ki	Kd	Kondisi Robot
10	1	67	Respon robot lambat
10	**2**	**67**	**Respon robot stabil, tidak ada osilasi**
10	3	67	Aksi robot kurang responsif
10	5	67	Respon robot tidak stabil
10	8	67	Respon robot tidak stabil dan berosilasi

Dari hasil pengujian Kendali Proporsional, Integral dan Derivatif terlihat hasil bahwa Kendali Integral dapat memberikan respon baik pada robot pada saat penggunaan konstanta Ki yang tepat. Penggunaan konstanta Ki yang tidak tepat dapat mengakibatkan robot menjadi berosilasi, memperlambat respon robot dan menyebabkan robot menjadi tidak stabil.



Gambar 4.15 Grafik Respon Hasil *Tuning* Kendali PID

4.7 Pengujian Keseluruhan Sistem

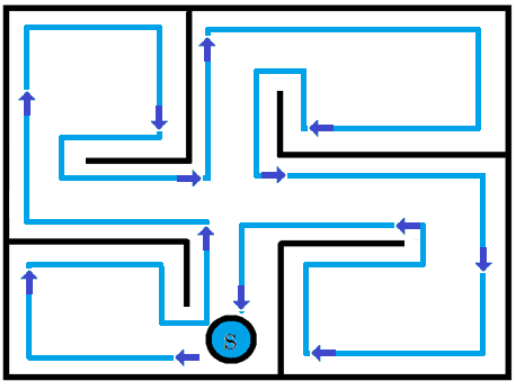
Pengujian keseluruhan sistem bertujuan untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat menunjukkan kinerja yang sesuai dengan harapan. Pengujian keseluruhan sistem dibagi menjadi pengujian robot mengikuti dinding kanan dan

pengujian robot mengikuti dinding kiri. Untuk memperoleh hasil terbaik, pengujian dilakukan sebanyak 20 kali untuk mengetahui ketahanan dan kestabilan dari robot. Pengujian dilakukan dengan mengamati setiap aksi yang dilakukan robot dan mencatat lama waktu yang dibutuhkan oleh robot untuk menyusuri arena pengujian dalam satu putaran.

4.7.1 Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan

Pada pengujian robot mengikuti dinding kanan ini, sebagai tahap awal akan dilakukan beberapa pengaturan seperti pengaturan konstanta PID, metode telusur yang aktif adalah telusur kanan, pengaturan kecepatan motor dan lain-lain. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Kendali PID yang telah didapatkan melalui proses *tuning* apakah mampu memberikan kestabilan pada robot dan mempertahakan jarak antara robot dengan dinding agar tetap konstan. Sebagai indikator keberhasilan robot mengikuti dinding akan ditampilkan data hasil pengamatan dalam bentuk tabel yang meliputi waktu yang diperlukan robot untuk mengikuti dinding dalam satu kali putaran kemudian berapa banyak robot bersentuhan langsung dengan dinding.

Arena pengujian robot mengikuti dinding kanan dan ilustrasi jalur pergerakan yang akan dilewati robot ditunjukkan oleh gambar 4.16. Pada gambar di bawah terdapat huruf “S” yang menandakan posisi awal dari robot. Tanda panah menunjukkan arah pergerakan robot dimana robot mulai bergerak dari hurus “S” dan posisi akhirnya adalah kembali lagi ke huruf “S”.



Gambar 4.16 Arena Pengujian dan Ilustrasi Robot *Follow* Dinding Kanan

Pada pengujian robot mengikuti dinding kanan ini dilakukan dengan cara menerapkan pengendali secara independen maupun gabungan mulai dari hanya menggunakan Kendali Proporsional, Kendali Proporsional dan Derivatif, dan terakhir kombinasi dari ketiga pengendali yaitu Kendali Proporsional, integral dan Derivatif. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dimana di dalam tabel terdapat beberapa indikator sebagai acuan apakah pengendali yang diterapkan telah mampu membuat pergerakan robot menjadi stabil, responsif dan aman.

a. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan (dengan Kendali Proporsional

Pada pengujian ini konstanta Kp sudah didapatkan dengan cara *tuning* yang telah dilakukan sebelumnya. Dimana konstanta Kp sebesar 10. Pengujian robot mengikuti dinding kanan ini dilakukan dengan hanya menggunakan Kendali Proporsional dan mengamati setiap pergerakan robot dan mencatat hasilnya. Hasil pengujian dari robot mengikuti dinding kanan dengan hanya Kendali Proporsional ditunjukkan oleh tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan dengan Kendali Proporsional

Pengujian Ke-	Waktu (detik)	Jumlah Benturan	Hasil Pengujian
1	30,28	0	Berhasil mengikuti dinding
2	31,11	1	Berhasil mengikuti dinding
3	32,05	2	Berhasil mengikuti dinding
4	31,18	0	Berhasil mengikuti dinding
5	30,01	0	Berhasil mengikuti dinding
6	29,56	0	Berhasil mengikuti dinding
7	30,22	0	Berhasil mengikuti dinding
8	32,01	1	Berhasil mengikuti dinding
9	-	-	Gagal mengikuti dinding
10	30,05	0	Berhasil mengikuti dinding
11	29,47	0	Berhasil mengikuti dinding
12	31,24	1	Berhasil mengikuti dinding
13	32,22	2	Berhasil mengikuti dinding
14	31,10	0	Berhasil mengikuti dinding
15	33,03	1	Berhasil mengikuti dinding
16	30,55	0	Berhasil mengikuti dinding
17	30,33	0	Berhasil mengikuti dinding
18	31,19	0	Berhasil mengikuti dinding
19	-	-	Gagal mengikuti dinding
20	30,23	1	Berhasil mengikuti dinding

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa robot berhasil mengikuti dinding lintasan namun dengan catatan waktu yang cukup lama, robot bermanuver kurang aman itu terlihat pada beberapa pengujian robot mengalami benturan dengan arena pengujian namun masih tetap mampu mengikuti dinding. dan pada beberapa pengujian robot gagal mengikuti dinding arena pengujian. Hal tersebut dikarenakan Kendali Proporsional tidak memberikan efek dinamik pada kinerja robot dan hanya berfungsi sebagai penguat sinyal kesalahan penggerak. Dengan demikian, penggunaan Kendali Proporsional belum memenuhi persyaratan performansi yang diinginkan.

b. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan (dengan Kendali Proporsional dan Derivatif)

Pada pengujian sebelumnya, yaitu saat robot hanya menggunakan Kendali Proporsional belum mampu membuat pergerakan robot menjadi stabil dan aman. Oleh karena itu penambahan Kendali Derivatif dimaksudkan untuk meredam osilasi dari robot dan membuat pergerakan robot menjadi stabil. Hasil dari pengujian robot mengikuti dinding kanan ditunjukkan oleh tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan dengan Kendali Proporsional dan Derivatif

Pengujian Ke-	Waktu (detik)	Jumlah Benturan	Hasil Pengujian
1	25,03	0	Berhasil mengikuti dinding
2	26,52	0	Berhasil mengikuti dinding
3	26,19	0	Berhasil mengikuti dinding
4	25,12	0	Berhasil mengikuti dinding
5	26,22	0	Berhasil mengikuti dinding
6	26,13	0	Berhasil mengikuti dinding
7	27,01	1	Berhasil mengikuti dinding
8	26,50	0	Berhasil mengikuti dinding
9	25,01	0	Berhasil mengikuti dinding
10	26,09	0	Berhasil mengikuti dinding
11	26,31	0	Berhasil mengikuti dinding
12	26,23	0	Berhasil mengikuti dinding
13	26,14	0	Berhasil mengikuti dinding
14	27,10	1	Berhasil mengikuti dinding
15	26,05	0	Berhasil mengikuti dinding
16	26,01	0	Berhasil mengikuti dinding
17	25,48	0	Berhasil mengikuti dinding
18	26,28	0	Berhasil mengikuti dinding
19	26,42	1	Berhasil mengikuti dinding
20	25,19	0	Berhasil mengikuti dinding

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa penggunaan Kendali Proporsional dan Derivatif pada robot telah mampu membuat pergerakan robot menjadi stabil. Terbukti setelah dilakukan beberapa kali pengujian robot mampu

bermanuver dengan aman tanpa ada kontak langsung dengan dinding lintasan. Namun pada beberapa pengujian masih terdapat kontak langsung antara robot dengan dinding, tapi robot berhasil mengikuti dinding sampai kembali ke posisi semula. Selain itu waktu tempuh dari robot dengan Kendali Proporsional dan Derivatif lebih cepat, aman dan responsif dibandingkan dengan hanya Kendali Proporsional.

c. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan (dengan Kendali Proporsional, Integral dan Derivatif)

Pada pengujian sebelumnya, penggunakan Kendali PD telah mampu membuat pergerakan robot menjadi lebih baik jika dibandingkan dengan hanya penerapan Kendali Proporsional. Pada pengujian ini ditambahkan Kendali Integral untuk menghilangkan kesalahan keadaan mantap.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan dengan Kendali PID

Pengujian Ke-	Waktu (detik)	Jumlah Benturan	Hasil Pengujian
1	25,03	0	Berhasil mengikuti dinding
2	24,57	0	Berhasil mengikuti dinding
3	25,18	0	Berhasil mengikuti dinding
4	25,10	0	Berhasil mengikuti dinding
5	25,01	0	Berhasil mengikuti dinding
6	25,13	0	Berhasil mengikuti dinding
7	25,11	0	Berhasil mengikuti dinding
8	25,52	1	Berhasil mengikuti dinding
9	25,19	0	Berhasil mengikuti dinding
10	25,20	0	Berhasil mengikuti dinding
11	25,31	0	Berhasil mengikuti dinding
12	25,02	0	Berhasil mengikuti dinding
13	25,27	0	Berhasil mengikuti dinding
14	24,41	0	Berhasil mengikuti dinding
15	25,20	0	Berhasil mengikuti dinding
16	25,18	1	Berhasil mengikuti dinding
17	25,32	0	Berhasil mengikuti dinding

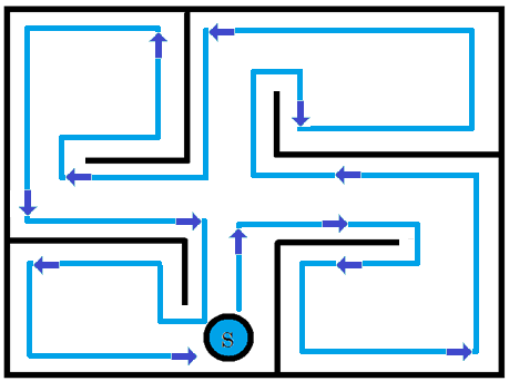
18	24,17	0	Berhasil mengikuti dinding
19	25,15	0	Berhasil mengikuti dinding
20	25,27	0	Berhasil mengikuti dinding

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh hasil bahwa parameter konstanta PID yang telah didapat melalui *metode tuning* telah berhasil membuat pergerakan robot stabil, responsif dan aman. Terlihat dari tabel hasil pengujian robot mengikuti dinding kanan lintasan di atas, dari hasil pengujian robot yang telah dilakukan berhasil mengikuti dinding dengan hanya mengalami satu kali benturan. Selain itu Kendali PID juga telah mampu memberikan keputusan gerak pada robot selama pengujian berlangsung.

4.7.2 Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri

Pengujian ini tidak berbeda dengan pengujian sebelumnya, yakni bertujuan untuk mengetahui apakah parameter konstanta PID yang telah didapat dapat membuat pergerakan robot dengan berbagai metode telusur dapat memberikan unjuk kerja yang memuaskan. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali dan mengamati setiap aksi dari robot kemudian mencatat hasilnya.

Arena pengujian robot mengikuti dinding kiri dan ilustrasi jalur pergerakan yang akan dilewati robot ditunjukkan oleh gambar 4.17 di bawah ini.



Gambar 4.17 Arena Pengujian dan Ilustrasi Robot *Follow* Dinding Kiri

a. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri (dengan Kendali Proporsional)

Pengujian robot mengikuti dinding kiri pada tahap awal sama seperti pengujian sebelumnya, yaitu hanya menggunakan Kendali Proporsional. Pengujian dilakukan dengan cara mengamati pergerakan robot kemudian mencatat hasilnya.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri dengan Kendali Proporsional

Pengujian Ke-	Waktu (detik)	Jumlah Benturan	Hasil Pengujian
1	33,09	1	Berhasil mengikuti dinding
2	30,17	0	Berhasil mengikuti dinding
3	31,29	0	Berhasil mengikuti dinding
4	32,01	1	Berhasil mengikuti dinding
5	31,12	0	Berhasil mengikuti dinding
6	32,03	0	Berhasil mengikuti dinding
7	29,58	0	Berhasil mengikuti dinding
8	30,15	0	Berhasil mengikuti dinding
9	31,01	0	Berhasil mengikuti dinding
10	31,43	1	Berhasil mengikuti dinding
11	31,28	0	Berhasil mengikuti dinding
12	31,24	0	Berhasil mengikuti dinding
13	30,22	0	Berhasil mengikuti dinding
14	30,41	1	Berhasil mengikuti dinding
15	30,18	0	Berhasil mengikuti dinding
16	30,51	0	Berhasil mengikuti dinding
17	-	-	Gagal mengikuti dinding
18	32,08	2	Berhasil mengikuti dinding
19	31,10	0	Berhasil mengikuti dinding
20	31,26	1	Berhasil mengikuti dinding

Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh tidak jauh beda dengan pengujian sebelumnya, dimanan penggunaan Kendali Proporsional secara independen belum mampu membuat pergerakan robot menjadi stabil dan aman meskipun robot mampu mengikuti dinding lintasan.

b. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri (dengan Kendali Proporsional dan Derivatif)

Dari hasil pengujian yang ditunjukkan oleh tabel 4.11 di bawah, penerapan Kendali Proporsional dan Derivatif telah mampu membuat pergerakan robot menjadi halus saat bergerak dan menunjukkan aksi lebih responsif ketika bermanuver. Hasil dari pengujian Kendali Proporsional dan Derivatif ketika robot mengikuti dinding kiri arena pengujian ditunjukkan oleh tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri dengan Kendali Proporsional dan Derivatif

Pengujian Ke-	Waktu (detik)	Jumlah Benturan	Hasil Pengujian
1	25,67	0	Berhasil mengikuti dinding
2	26,08	0	Berhasil mengikuti dinding
3	25,87	1	Berhasil mengikuti dinding
4	25,53	0	Berhasil mengikuti dinding
5	26,24	0	Berhasil mengikuti dinding
6	25,61	0	Berhasil mengikuti dinding
7	26,29	0	Berhasil mengikuti dinding
8	25,72	0	Berhasil mengikuti dinding
9	26,34	0	Berhasil mengikuti dinding
10	25,59	0	Berhasil mengikuti dinding
11	26,52	1	Berhasil mengikuti dinding
12	27,12	0	Berhasil mengikuti dinding
13	25,28	0	Berhasil mengikuti dinding
14	26,42	0	Berhasil mengikuti dinding
15	25,61	0	Berhasil mengikuti dinding
16	27,06	1	Berhasil mengikuti dinding
17	26,47	0	Berhasil mengikuti dinding
18	25,69	0	Berhasil mengikuti dinding
19	25,55	0	Berhasil mengikuti dinding
20	26,18	0	Berhasil mengikuti dinding

c. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri (dengan Kendali Proporsionl, Integral dan Derivatif)

Sama seperti pengujian robot mengikuti dinding kanan, pada pengujian robot mengikuti dinding kiri ini menggunakan kendali PID untuk memperoleh hasil terbaik. Adapun hasil dari pengujian ditunjukkan oleh tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri dengan Kendali PID

Pengujian Ke-	Waktu (detik)	Jumlah Benturan	Hasil Pengujian
1	25,27	0	Berhasil mengikuti dinding
2	25,21	0	Berhasil mengikuti dinding
3	25,02	0	Berhasil mengikuti dinding
4	25,23	1	Berhasil mengikuti dinding
5	25,21	0	Berhasil mengikuti dinding
6	24,67	0	Berhasil mengikuti dinding
7	25,25	0	Berhasil mengikuti dinding
8	24,41	0	Berhasil mengikuti dinding
9	25,08	0	Berhasil mengikuti dinding
10	25,11	0	Berhasil mengikuti dinding
11	25,01	0	Berhasil mengikuti dinding
12	25,32	0	Berhasil mengikuti dinding
13	25,16	0	Berhasil mengikuti dinding
14	25,35	0	Berhasil mengikuti dinding
15	24,19	0	Berhasil mengikuti dinding
16	24,23	0	Berhasil mengikuti dinding
17	25,20	0	Berhasil mengikuti dinding
18	25,32	0	Berhasil mengikuti dinding
19	25,05	0	Berhasil mengikuti dinding
20	25,53	0	Berhasil mengikuti dinding

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa parameter konstanta PID telah mampu membuat pergerakan robot menjadi stabil, responsif dan aman dan berhasil membuat keputusan dalam menentukan pergerakan robot selama mengikuti dinding kiri. Secara keseluruhan parameter konstanta PID yang telah didapat dari metode *tuning* telah memberikan performa yang baik ketika robot

mengikuti dinding kanan maupun kiri dan sesuai dengan yang diharapkan. Dari hasil pengujian keseluruhan sistem yaitu ketika pengujian robot mengikuti dinding kanan dan kiri dengan Kendali Proporsional, Kendali Proporsional dan Derivatif dan Kendali Proporsional, Integral dan Derivatif diperoleh hasil yang tidak jauh berbeda karena sensor yang digunakan memiliki tipe yang sama, pengaturan parameter konstanta PID yang sama sehingga *output* yang dihasilkan tidak jauh berbeda.