

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Untuk mengetahui rancangan alat bekerja sesuai harapan atau tidak, maka perlu dilakukan pengujian pada tiap blok sistem dan sistem secara keseluruhan. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- Pengujian sensor
- Pengujian FLC
- Pengujian sistem secara keseluruhan

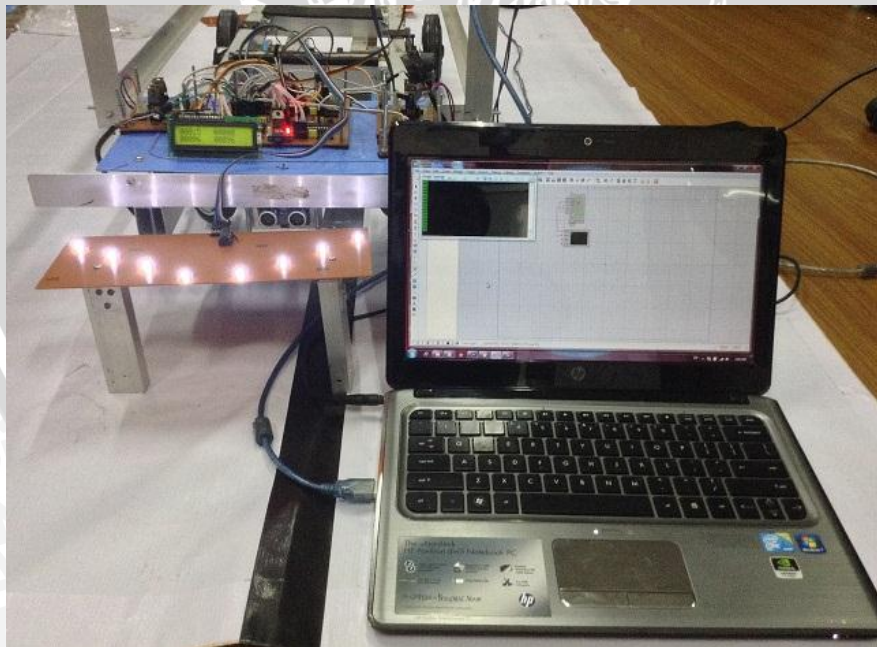
5.1 Pengujian Sensor

5.1.1 Peralatan yang digunakan

- Sensor photodiode
- Mikrokontroler ATmega8 beserta rangkaian minimum sistemnya.
- LCD
- Laptop dengan perangkat lunak *AVR Studio* untuk memberikan perintah pengolahan data logika sensor dan *Proteus* untuk merekam hasil pengolahan mikrokontroler *ATmega8*.

5.1.2 Langkah Pengujian

Peralatan dirangkai seperti pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Rangkaian Pengujian Sensor Photodiode

Catu daya rangkaian berasal dari port *USB* laptop. Kemudian memberikan perintah pengolahan data ke mikrokontroler *ATmega8* menggunakan *AVR studio*.

Sensor photodiode di arahkan pada objek berwarna putih dengan garis hitam dan data keluaran sensor direkam menggunakan *software proteus*.

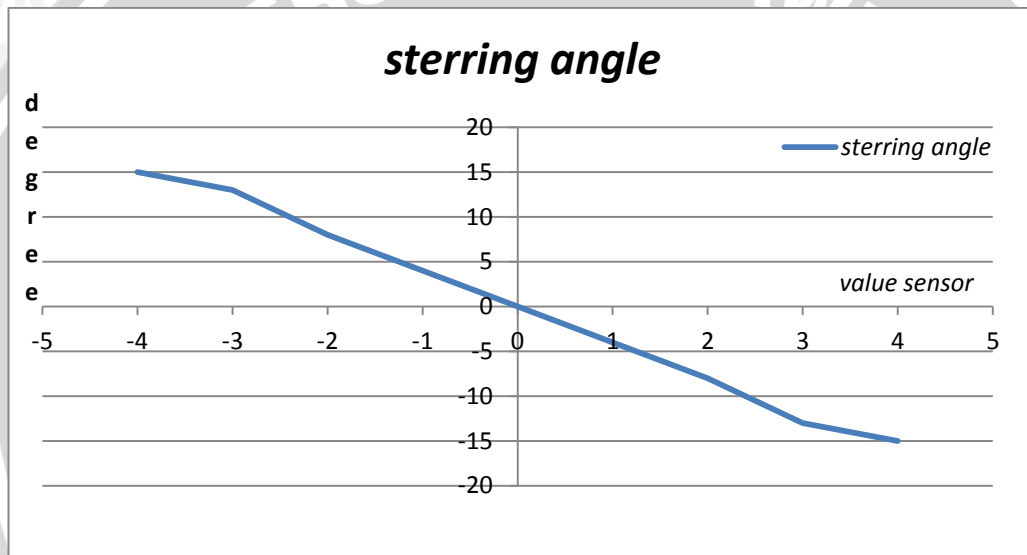
5.1.3 Hasil Pengujian

Hasil pengujian berupa data keluaran *steering angle* berdasarkan nilai sensor dapat dilihat dalam Tabel 5.1

Tabel 5.1 *Steering Angle*

<i>value sensor</i>	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
<i>sterring angle</i> (°)	15	13	8	4	0	-4	-8	-13	-15

Hasil pengujian sensor dalam grafik dapat dilihat dalam Gambar 5.2



Gambar 5.2 Grafik Keluaran Sensor Berdasarkan Nilai Sensor

5.2 Pengujian FLC

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa FLC yang diaplikasikan pada alat. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan masukan FLC berupa sudut simpangan (θ°) antara badan robot dengan *line* yang berbeda-beda berdasarkan *steering angle* sensor. Hasil dari pengujian FLC dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Pengujian FLC

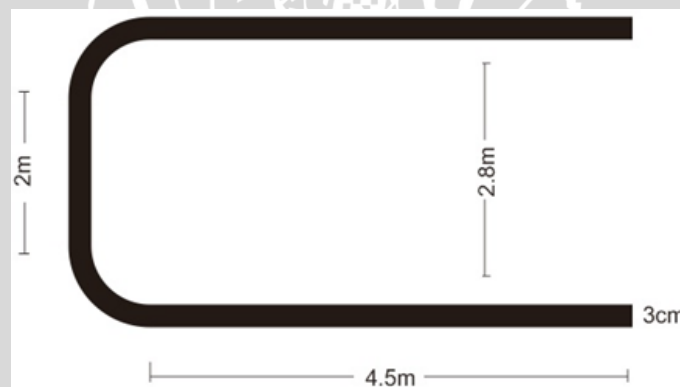
<i>Steering angle</i> (θ°)	PWM Motor Kanan	PWM Motor Kiri
15	0	192
13	12	179
8	44	147
4	70	121
0	96	96
-4	121	70
-8	147	44
-13	179	12
-15	192	0

Tabel 5.2 menunjukkan nilai keluaran PWM motor dari hasil perhitungan FLC berdasarkan *steering angle* (θ°) yang dihasilkan sensor photodiode.

5.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan beberapa kali dengan tuning *sampling time*, tuning konstanta *singleton* nilai PWM motor maksimum dan *delta error*

Pengujian pergerakan robot dalam mengikuti *line* dilakukan dengan menggunakan lintasan berbentuk huruf U seperti pada Gambar 5.3



Gambar 5.3 Line Pengujian

5.3.1 Langkah Pengujian

- Mempersiapkan robot *line follower* pada lintasan
- Mempersiapkan laptop dengan *software proteus* dan *AVR studio*.
- Menghubungkan rangkaian mikrokontroler dengan laptop menggunakan port USB
- Menjalankan *software proteus*
- Mengaktifkan robot *line follower*

5.3.2 Hasil Pengujian

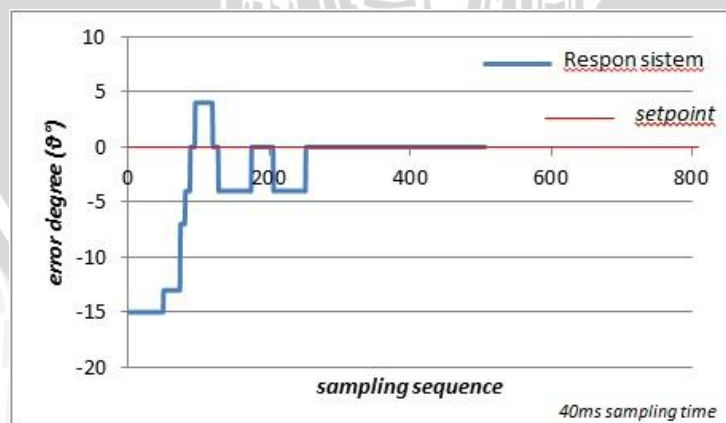
5.3.2.1 Pengujian Sistem terhadap Error Posisi Negatif

Data hasil pengujian sistem terhadap *error* negatif dapat dilihat dalam Tabel 5.3

Tabel 5.3 Data Pengujian Sistem terhadap *Error* Negatif

Data ke-	Degree	data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree
1	-15	51	-13	101	4	151	-4	201	0	251	-4	301	0	351	0	401	0	451	0
2	-15	52	-13	102	4	152	-4	202	0	252	0	302	0	352	0	402	0	452	0
3	-15	53	-13	103	4	153	-4	203	0	253	0	303	0	353	0	403	0	453	0
4	-15	54	-13	104	4	154	-4	204	0	254	0	304	0	354	0	404	0	454	0
5	-15	55	-13	105	4	155	-4	205	0	255	0	305	0	355	0	405	0	455	0
6	-15	56	-13	106	4	156	-4	206	-4	256	0	306	0	356	0	406	0	456	0
7	-15	57	-13	107	4	157	-4	207	-4	257	0	307	0	357	0	407	0	457	0
8	-15	58	-13	108	4	158	-4	208	-4	258	0	308	0	358	0	408	0	458	0
9	-15	59	-13	109	4	159	-4	209	-4	259	0	309	0	359	0	409	0	459	0
10	-15	60	-13	110	4	160	-4	210	-4	260	0	310	0	360	0	410	0	460	0
11	-15	61	-13	111	4	161	-4	211	-4	261	0	311	0	361	0	411	0	461	0
12	-15	62	-13	112	4	162	-4	212	-4	262	0	312	0	362	0	412	0	462	0
13	-15	63	-13	113	4	163	-4	213	-4	263	0	313	0	363	0	413	0	463	0
14	-15	64	-13	114	4	164	-4	214	-4	264	0	314	0	364	0	414	0	464	0
15	-15	65	-13	115	4	165	-4	215	-4	265	0	315	0	365	0	415	0	465	0
16	-15	66	-13	116	4	166	-4	216	-4	266	0	316	0	366	0	416	0	466	0
17	-15	67	-13	117	4	167	-4	217	-4	267	0	317	0	367	0	417	0	467	0
18	-15	68	-13	118	4	168	-4	218	-4	268	0	318	0	368	0	418	0	468	0
19	-15	69	-13	119	4	169	-4	219	-4	269	0	319	0	369	0	419	0	469	0
20	-15	70	-13	120	0	170	-4	220	-4	270	0	320	0	370	0	420	0	470	0
21	-15	71	-13	121	0	171	-4	221	-4	271	0	321	0	371	0	421	0	471	0
22	-15	72	-13	122	0	172	-4	222	-4	272	0	322	0	372	0	422	0	472	0
23	-15	73	-13	123	0	173	-4	223	-4	273	0	323	0	373	0	423	0	473	0
24	-15	74	-7	124	0	174	-4	224	-4	274	0	324	0	374	0	424	0	474	0
25	-15	75	-7	125	0	175	0	225	-4	275	0	325	0	375	0	425	0	475	0
26	-15	76	-7	126	0	176	0	226	-4	276	0	326	0	376	0	426	0	476	0
27	-15	77	-7	127	0	177	0	227	-4	277	0	327	0	377	0	427	0	477	0
28	-15	78	-7	128	-4	178	0	228	-4	278	0	328	0	378	0	428	0	478	0
29	-15	79	-7	129	-4	179	0	229	-4	279	0	329	0	379	0	429	0	479	0
30	-15	80	-7	130	-4	180	0	230	-4	280	0	330	0	380	0	430	0	480	0
31	-15	81	-4	131	-4	181	0	231	-4	281	0	331	0	381	0	431	0	481	0
32	-15	82	-4	132	-4	182	0	232	-4	282	0	332	0	382	0	432	0	482	0
33	-15	83	-4	133	-4	183	0	233	-4	283	0	333	0	383	0	433	0	483	0
34	-15	84	-4	134	-4	184	0	234	-4	284	0	334	0	384	0	434	0	484	0
35	-15	85	-4	135	-4	185	0	235	-4	285	0	335	0	385	0	435	0	485	0
36	-15	86	-4	136	-4	186	0	236	-4	286	0	336	0	386	0	436	0	486	0
37	-15	87	-4	137	-4	187	0	237	-4	287	0	337	0	387	0	437	0	487	0
38	-15	88	0	138	-4	188	0	238	-4	288	0	338	0	388	0	438	0	488	0
39	-15	89	0	139	-4	189	0	239	-4	289	0	339	0	389	0	439	0	489	0
40	-15	90	0	140	-4	190	0	240	-4	290	0	340	0	390	0	440	0	490	0
41	-15	91	0	141	-4	191	0	241	-4	291	0	341	0	391	0	441	0	491	0
42	-15	92	0	142	-4	192	0	242	-4	292	0	342	0	392	0	442	0	492	0
43	-15	93	0	143	-4	193	0	243	-4	293	0	343	0	393	0	443	0	493	0
44	-15	94	0	144	-4	194	0	244	-4	294	0	344	0	394	0	444	0	494	0
45	-15	95	4	145	-4	195	0	245	-4	295	0	345	0	395	0	445	0	495	0
46	-15	96	4	146	-4	196	0	246	-4	296	0	346	0	396	0	446	0	496	0
47	-15	97	4	147	-4	197	0	247	-4	297	0	347	0	397	0	447	0	497	0
48	-15	98	4	148	-4	198	0	248	-4	298	0	348	0	398	0	448	0	498	0
49	-15	99	4	149	-4	199	0	249	-4	299	0	349	0	399	0	449	0	499	0
50	-13	100	4	150	-4	200	0	250	-4	300	0	350	0	400	0	450	0	500	0

Grafik respon sistem terhadap *error* posisi negatif dapat dilihat dalam Gambar 5.4



Gambar 5.4 Grafik Respon Sistem terhadap *Error* Posisi Negatif

Pada pengujian terhadap *error* posisi negatif, terjadi *overshoot* dan *Error Steady State* (ESS), *Settling Time* (TS) dan waktu *delay* program dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Maksimum *Overshoot* (MP)

$$\begin{aligned} \%MP &= \frac{|T_{puncak} - T_{steady\ state}|}{T_{steady\ stste}} \times 100\% \\ &= \frac{|19-15|}{15} \times 100\% \\ &= 26,67\% \end{aligned}$$

2. *Error Steady State* (ESS)

$$\begin{aligned} \%ESS &= \frac{|T_{steady\ state} - T_{setpoint}|}{T_{setpoint}} \times 100\% \\ &= \frac{|0-0|}{0} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

3. *Settling Time* (TS)

Dari tabel 5.3 dapat diketahui bahwa *Settling Time* (TS) terjadi pada data ke-252 dengan *sampling time* sebesar 40ms, maka:

$$\begin{aligned} TS &= \frac{252 \times 40ms}{1000} \\ &= 10,08s \end{aligned}$$

4. Waktu Tunda (Td)

Pada pengujian terhadap *error* posisi negatif, waktu tunda terjadi antara data ke-74 sampai data ke-80, maka :

$$\begin{aligned} TD &= \frac{(74+80)}{1000} \times 40ms \\ &= 3,08s \end{aligned}$$

Untuk pengujian respon sistem terhadap *error* posisi negatif, sistem mencapai keadaan *steady state* pada 10,08s dengan *delay* sebesar 3,08s. Sedangkan *overshoot* maksimum yang terjadi sebesar 26,67% dengan *error steady state* mencapai 0%.

5.3.2.2 Pengujian Sistem terhadap *Error Posisi Positif*

Data hasil pengujian sistem terhadap *error* negatif dapat dilihat dalam

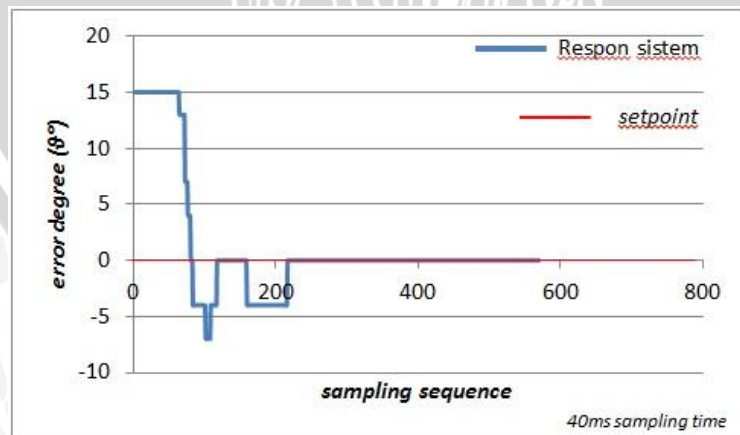
Tabel 5.4

Tabel 5.4 Data Pengujian Sistem terhadap *Error Positif*

Data ke-	Degree	data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree	Data ke-	Degree
1	15	51	15	101	-4	151	0	201	-4	251	0	301	0	351	0	401	0	451	0
2	15	52	15	102	-7	152	0	202	-4	252	0	302	0	352	0	402	0	452	0
3	15	53	15	103	-7	153	0	203	-4	253	0	303	0	353	0	403	0	453	0
4	15	54	15	104	-7	154	0	204	-4	254	0	304	0	354	0	404	0	454	0
5	15	55	15	105	-7	155	0	205	-4	255	0	305	0	355	0	405	0	455	0
6	15	56	15	106	-7	156	0	206	-4	256	0	306	0	356	0	406	0	456	0
7	15	57	15	107	-7	157	0	207	-4	257	0	307	0	357	0	407	0	457	0
8	15	58	15	108	-7	158	0	208	-4	258	0	308	0	358	0	408	0	458	0
9	15	59	15	109	-4	159	0	209	-4	259	0	309	0	359	0	409	0	459	0
10	15	60	15	110	-4	160	-4	210	-4	260	0	310	0	360	0	410	0	460	0
11	15	61	15	111	-4	161	-4	211	-4	261	0	311	0	361	0	411	0	461	0
12	15	62	15	112	-4	162	-4	212	-4	262	0	312	0	362	0	412	0	462	0
13	15	63	15	113	-4	163	-4	213	-4	263	0	313	0	363	0	413	0	463	0
14	15	64	15	114	-4	164	-4	214	-4	264	0	314	0	364	0	414	0	464	0
15	15	65	13	115	-4	165	-4	215	-4	265	0	315	0	365	0	415	0	465	0
16	15	66	13	116	-4	166	-4	216	-4	266	0	316	0	366	0	416	0	466	0
17	15	67	13	117	-4	167	-4	217	0	267	0	317	0	367	0	417	0	467	0
18	15	68	13	118	0	168	-4	218	0	268	0	318	0	368	0	418	0	468	0
19	15	69	13	119	0	169	-4	219	0	269	0	319	0	369	0	419	0	469	0
20	15	70	13	120	0	170	-4	220	0	270	0	320	0	370	0	420	0	470	0
21	15	71	13	121	0	171	-4	221	0	271	0	321	0	371	0	421	0	471	0
22	15	72	13	122	0	172	-4	222	0	272	0	322	0	372	0	422	0	472	0
23	15	73	7	123	0	173	-4	223	0	273	0	323	0	373	0	423	0	473	0
24	15	74	7	124	0	174	-4	224	0	274	0	324	0	374	0	424	0	474	0
25	15	75	7	125	0	175	-4	225	0	275	0	325	0	375	0	425	0	475	0
26	15	76	7	126	0	176	-4	226	0	276	0	326	0	376	0	426	0	476	0
27	15	77	4	127	0	177	-4	227	0	277	0	327	0	377	0	427	0	477	0
28	15	78	4	128	0	178	-4	228	0	278	0	328	0	378	0	428	0	478	0
29	15	79	4	129	0	179	-4	229	0	279	0	329	0	379	0	429	0	479	0
30	15	80	4	130	0	180	-4	230	0	280	0	330	0	380	0	430	0	480	0
31	15	81	0	131	0	181	-4	231	0	281	0	331	0	381	0	431	0	481	0
32	15	82	0	132	0	182	-4	232	0	282	0	332	0	382	0	432	0	482	0
33	15	83	0	133	0	183	-4	233	0	283	0	333	0	383	0	433	0	483	0
34	15	84	-4	134	0	184	-4	234	0	284	0	334	0	384	0	434	0	484	0
35	15	85	-4	135	0	185	-4	235	0	285	0	335	0	385	0	435	0	485	0
36	15	86	-4	136	0	186	-4	236	0	286	0	336	0	386	0	436	0	486	0
37	15	87	-4	137	0	187	-4	237	0	287	0	337	0	387	0	437	0	487	0
38	15	88	-4	138	0	188	-4	238	0	288	0	338	0	388	0	438	0	488	0
39	15	89	-4	139	0	189	-4	239	0	289	0	339	0	389	0	439	0	489	0
40	15	90	-4	140	0	190	-4	240	0	290	0	340	0	390	0	440	0	490	0
41	15	91	-4	141	0	191	-4	241	0	291	0	341	0	391	0	441	0	491	0
42	15	92	-4	142	0	192	-4	242	0	292	0	342	0	392	0	442	0	492	0
43	15	93	-4	143	0	193	-4	243	0	293	0	343	0	393	0	443	0	493	0
44	15	94	-4	144	0	194	-4	244	0	294	0	344	0	394	0	444	0	494	0
45	15	95	-4	145	0	195	-4	245	0	295	0	345	0	395	0	445	0	495	0
46	15	96	-4	146	0	196	-4	246	0	296	0	346	0	396	0	446	0	496	0
47	15	97	-4	147	0	197	-4	247	0	297	0	347	0	397	0	447	0	497	0
48	15	98	-4	148	0	198	-4	248	0	298	0	348	0	398	0	448	0	498	0
49	15	99	-4	149	0	199	-4	249	0	299	0	349	0	399	0	449	0	499	0
50	15	100	-4	150	0	200	-4	250	0	300	0	350	0	400	0	450	0	500	0

Grafik respon sistem terhadap *error* posisi positif dapat dilihat dalam

Gambar 5.5



Gambar 5.5 Grafik Respon Sistem terhadap *Error Posisi Positif*

Pada pengujian terhadap *error* posisi positif, terjadi *overshoot* dan *Error Steady State* (ESS), *Settling Time* (TS) dan waktu *delay* program dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Maksimum *Overshoot* (MP)

$$\begin{aligned} \%MP &= \frac{T_{\text{puncak}} - T_{\text{steady state}}}{T_{\text{steady state}}} \times 100\% \\ &= \frac{-22 - (-15)}{-15} \times 100\% \\ &= 46,67\% \end{aligned}$$

2. *Error Steady State* (ESS)

$$\begin{aligned} \%ESS &= \frac{|T_{\text{steady state}} - T_{\text{setpoint}}|}{T_{\text{setpoint}}} \times 100\% \\ &= \frac{|0 - 0|}{0} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

3. *Settling Time* (TS)

Dari tabel 5.3 dapat diketahui bahwa *Settling Time* (TS) terjadi pada data ke-217 dengan *sampling time* sebesar 40ms, maka:

$$\begin{aligned} TS &= \frac{217 \times 40\text{ms}}{1000} \\ &= 86,8\text{s} \end{aligned}$$

4. Waktu Tunda (Td)

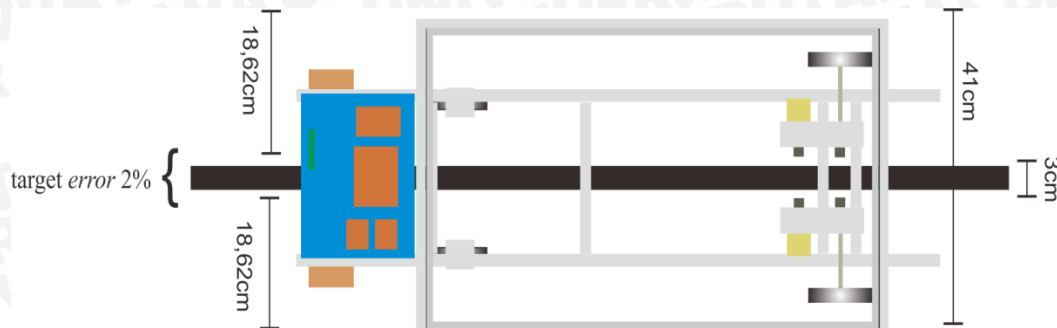
Pada pengujian terhadap *error* posisi positif, waktu tunda terjadi antara data ke-73 sampai data ke-76, maka ;

$$\begin{aligned} TD &= \frac{(73+76)}{1000} \times 40\text{ms} \\ &= 2,98\text{s} \end{aligned}$$

Untuk pengujian respon sistem terhadap *error* posisi positif, sistem mencapai keadaan *steady state* pada 86,8s dengan *delay* sebesar 2,98s. Sedangkan *overshoot* maksimum yang terjadi sebesar 46,67% dengan *error steady state* mencapai 0%.

5.3.2.3 Perhitungan Kesalahan Batas Tepi (*error margin*) Alat terhadap *Line*

Ketentuan batas tepi (*margin*) alat dapat dilihat dalam Gambar 5.6



Gambar 5.6 Ketentuan Batas Tepi (*margin*) Alat

Margin alat dengan target *error steady state* 2%

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{41\text{cm} - 3\text{cm}}{2} \right) - (19\text{cm} \times 2\%) \\
 &= 19\text{cm} - 0.38\text{cm} \\
 &= 18,62\text{cm}
 \end{aligned}$$

Margin alat hasil pengujian

$$\begin{aligned}
 &= 19\text{cm} - (19\text{cm} \times ESS\%) \\
 &= 19\text{cm} - (19\text{cm} \times 0\%) \\
 &= 19\text{cm}
 \end{aligned}$$

Prosentase *error margin*

$$\begin{aligned}
 \% &= \frac{(19\text{cm} - 19\text{cm})}{19\text{cm}} \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, nilai *error margin* sangat bergantung dari besarnya *error steady state* sistem yaitu sebesar 0%. Hal tersebut dikarenakan *ESS* yang terjadi merupakan hasil dari pembacaan sensor photodiode terhadap *line*. Sehingga besarnya nilai *error margin* sama dengan besarnya nilai *error steady state* sistem.