

Studi Eksperimental *Wearable Functional Electrical Stimulation* pada Pergerakan *Knee Joint* dengan Menggunakan Sistem Kendali *Cycle-to-cycle Control*

Stanley Setiawan 2212100035

Dosen Pembimbing :  
Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.

# Outline Presentasi

Pendahuluan

Metode Penunjang

Perancangan Sistem

Pengujian

Saran dan Kesimpulan

# Latar Belakang

Penyakit yang mengakibatkan paralisis pada otot skeletal dapat direhabilitasi dengan program *fisioterapi*. Salah satunya *functional electrical stimulation*

Memberikan stimulus listrik pada otot untuk menghasilkan kontraksi

Ukuran yang besar dan tidak praktis

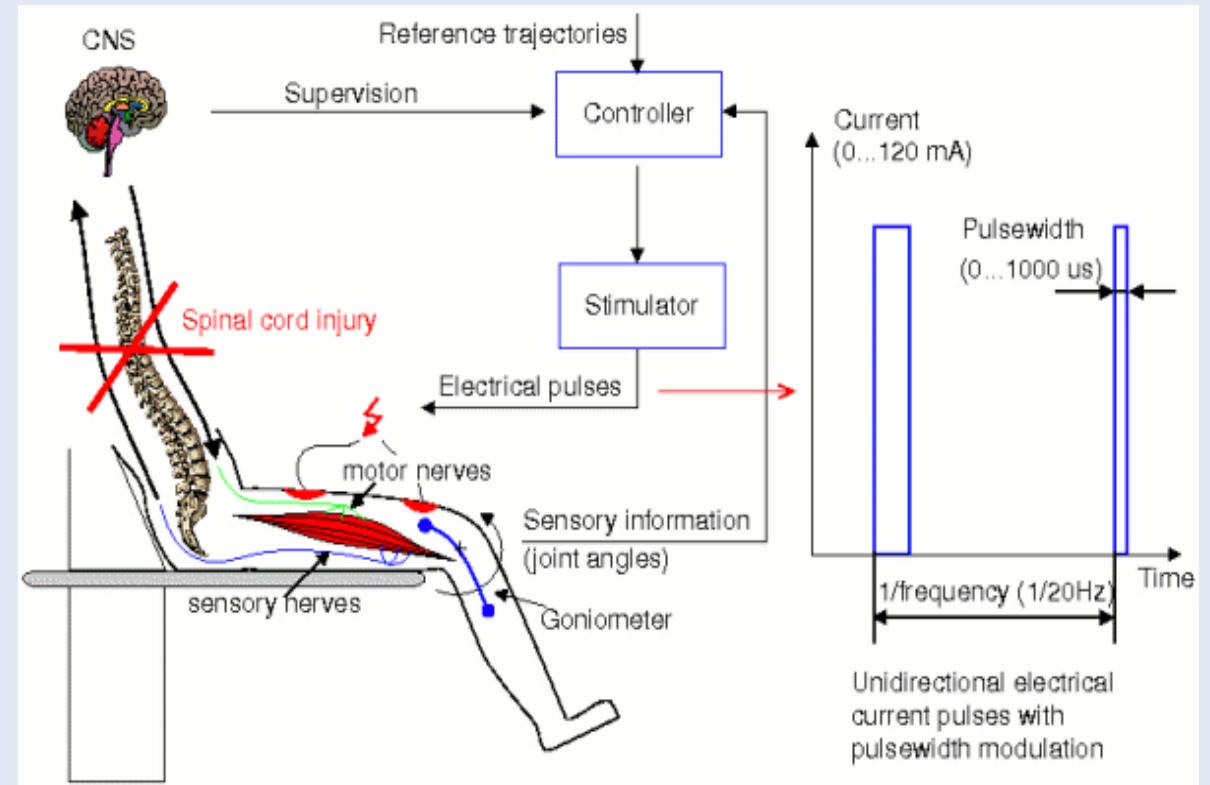
Sistem yang masih bersifat *open – loop*



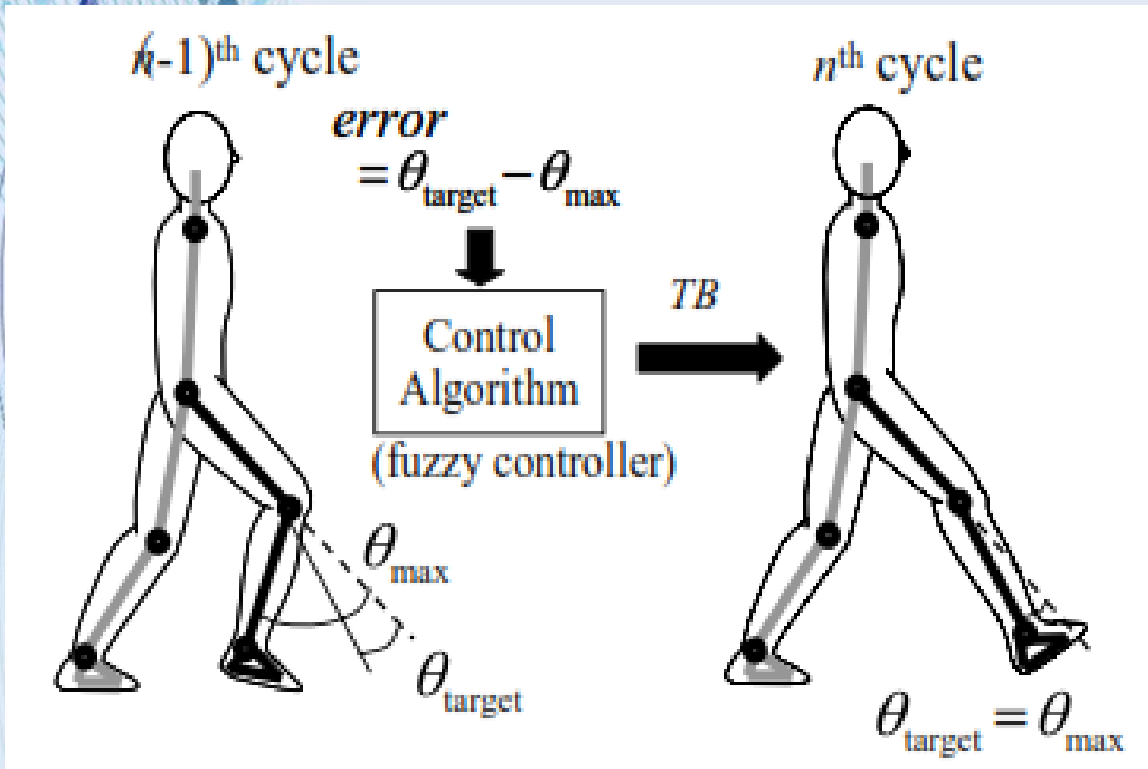
# Metode Penunjang

# Functional Electrical Stimulation

“Memunculkan proses aktivasi pada sistem syaraf untuk mendapatkan efek terapeutik atau efek fungsional”  
- P.H. Peckham



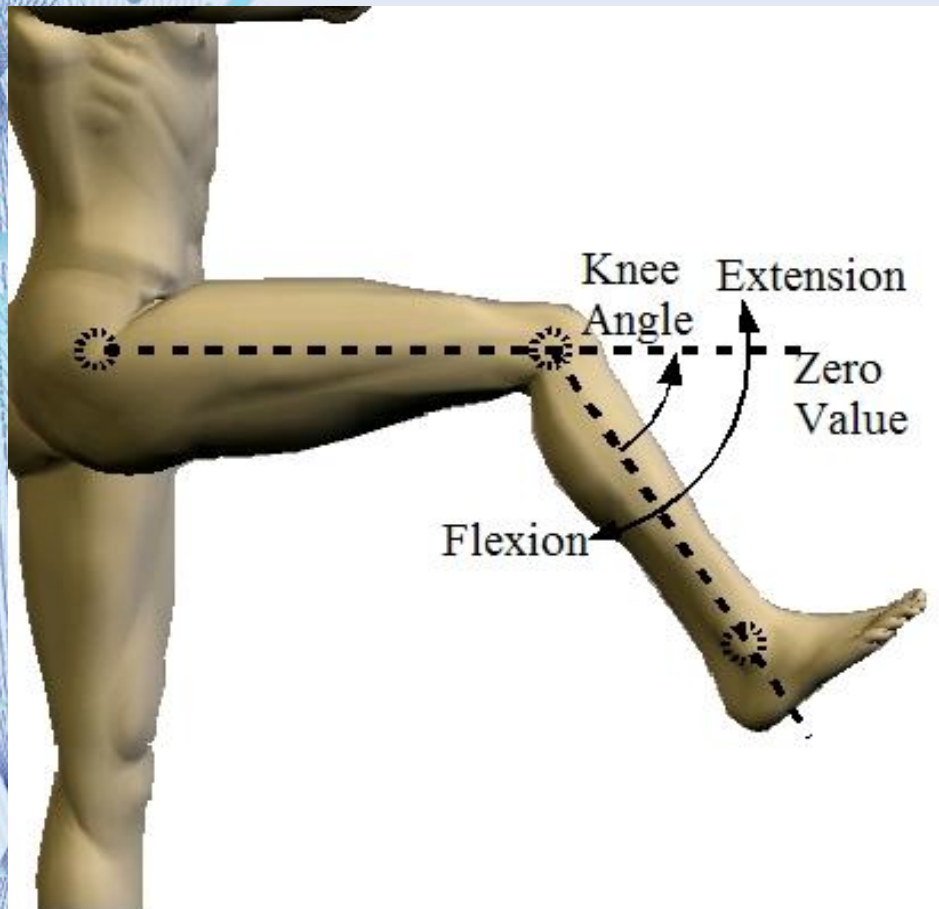
# Cycle-to-cycle Control



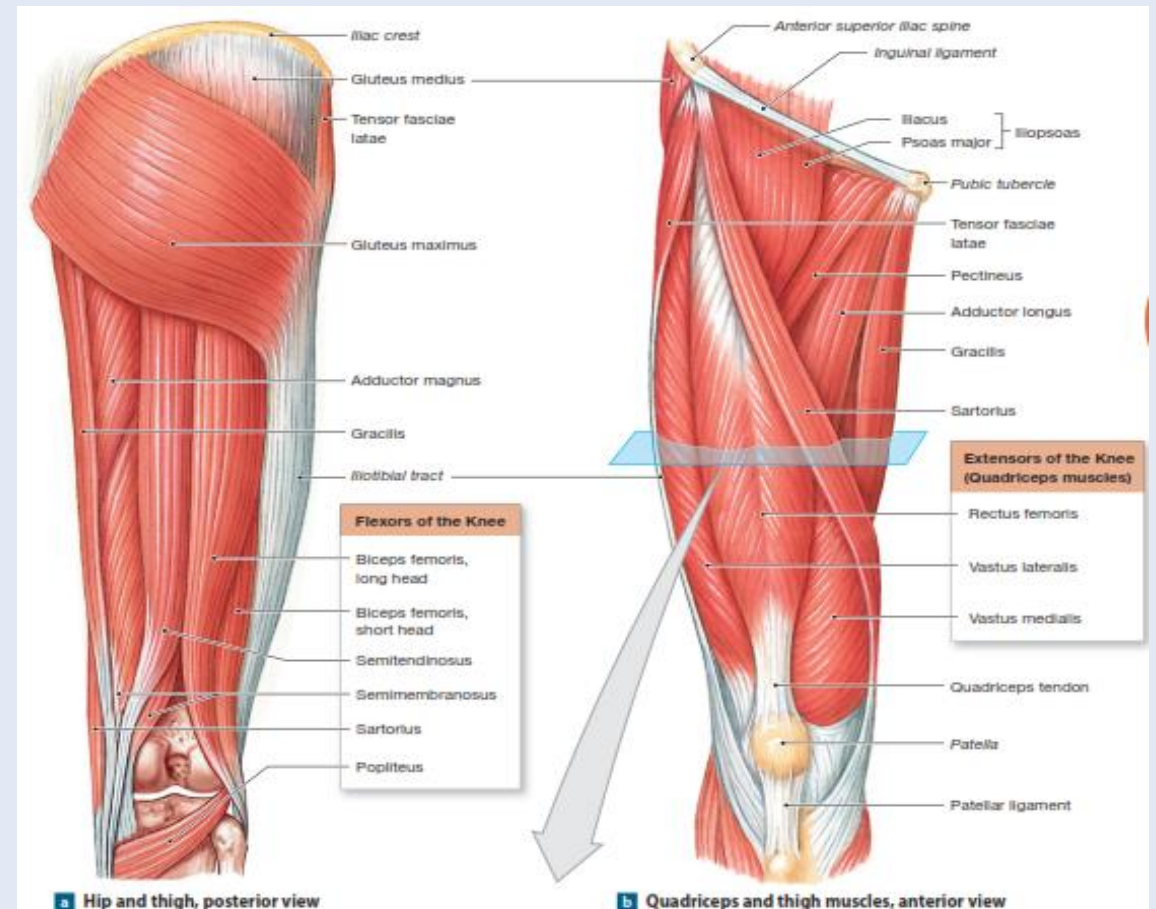
Berdasarkan dari model dari pergerakan anggota tubuh atau dalam gaya berjalan. Hasil output adalah *burst duration* dalam bentuk  $\Delta TB$

$$TB[n] = TB[n - 1] + \Delta TB[n]$$

# Gerakan Sendi Lutut



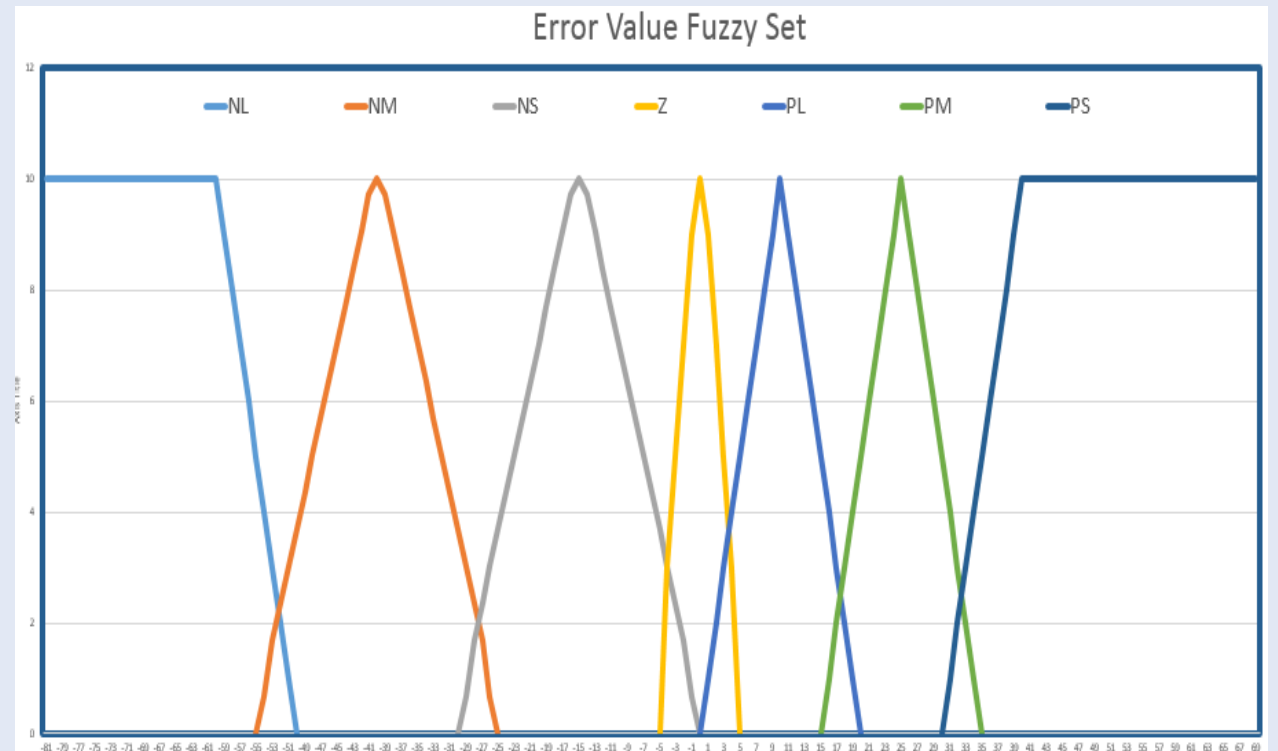
Ilustrasi flexion dan extension



Otot – otot pada segmen lutut

# Fuzzy Control System

Teori yang berdasarkan nilai ketidak pastian dan bukan berdasarkan nilai 0 dan 1

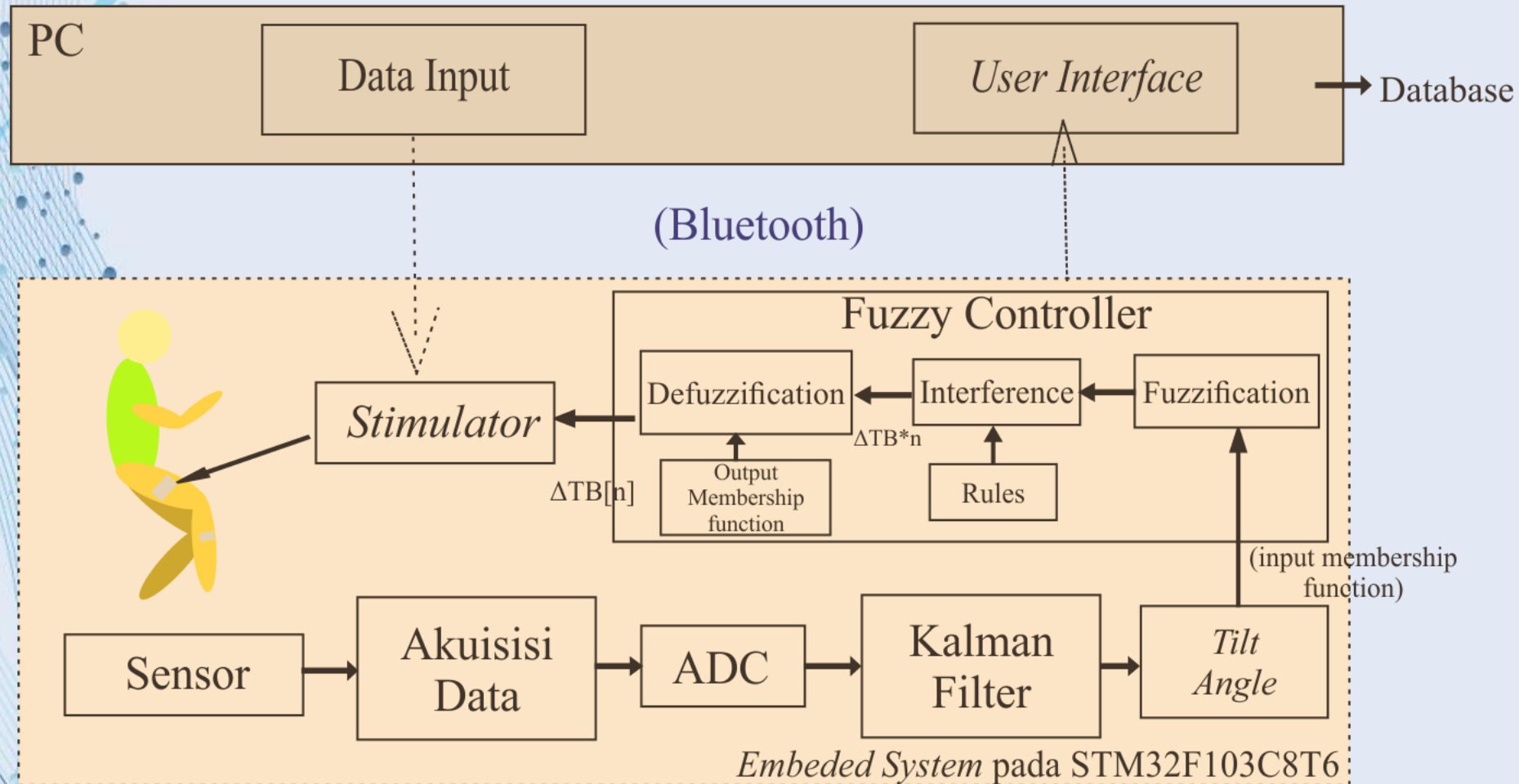




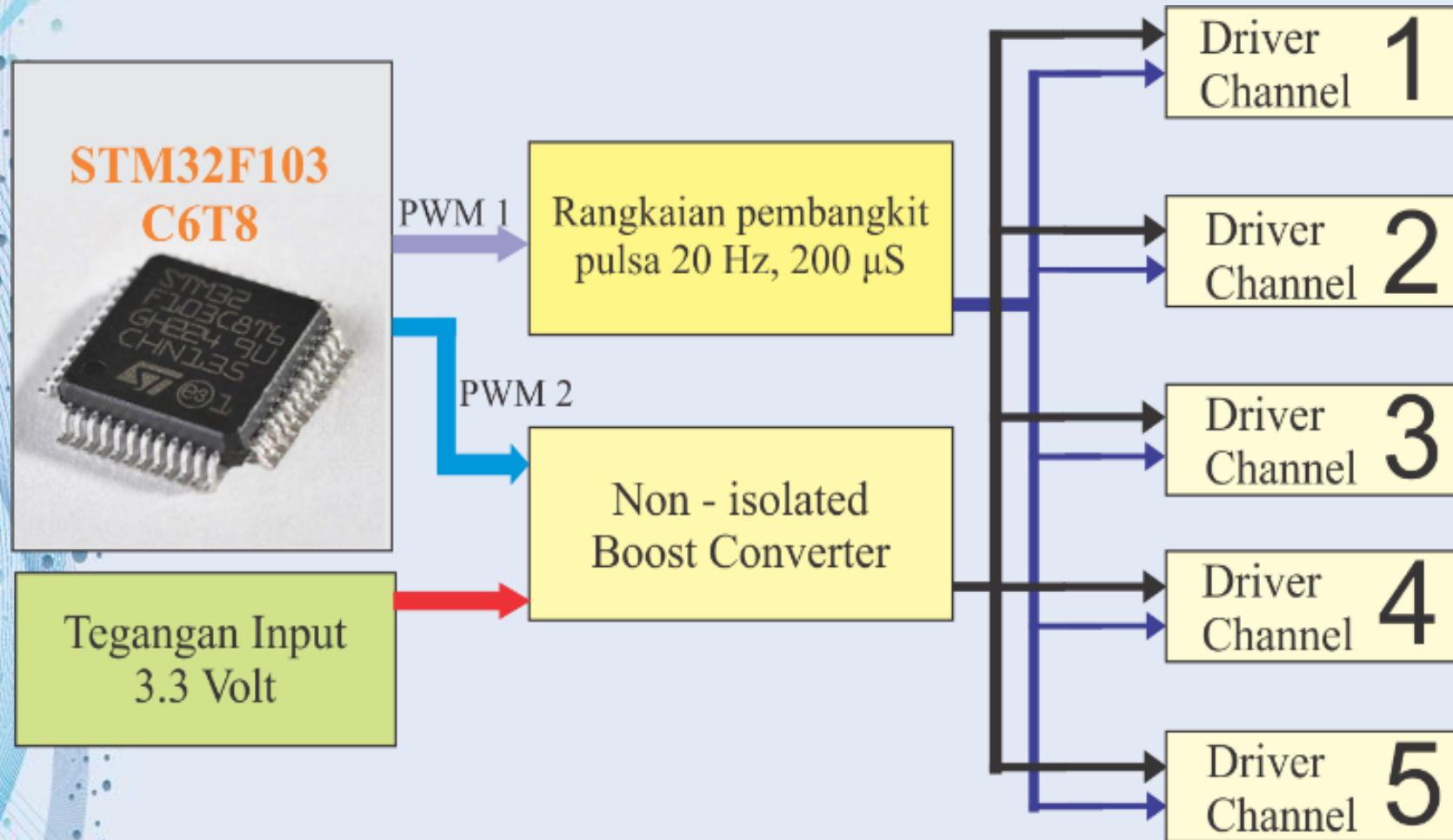


# Perancangan Sistem

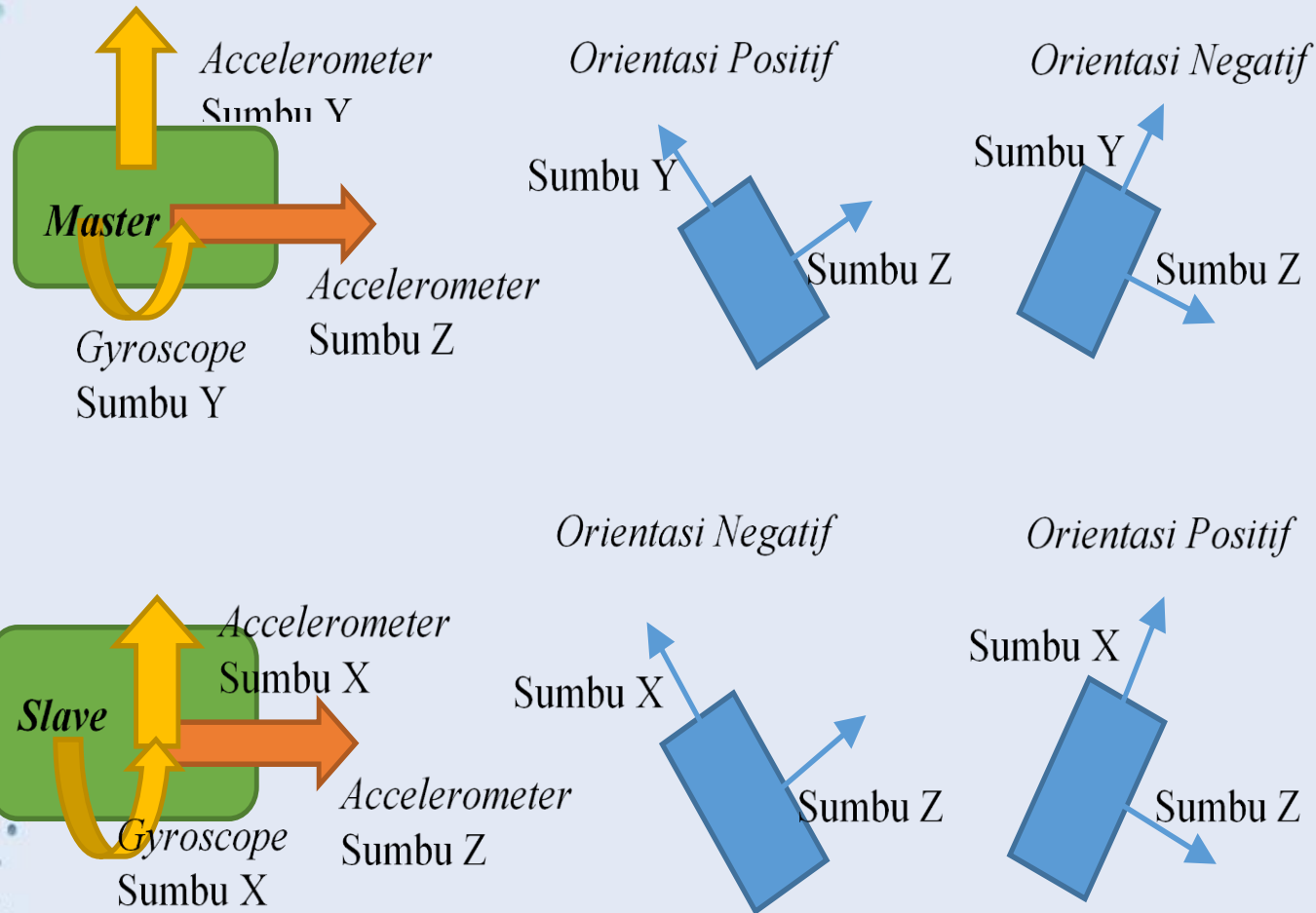
# Sistem Keseluruhan



# Perancangan Electrical Stimulator



# Perancangan Sistem Sensor



# Cycle-to-cycle Fuzzy Controller

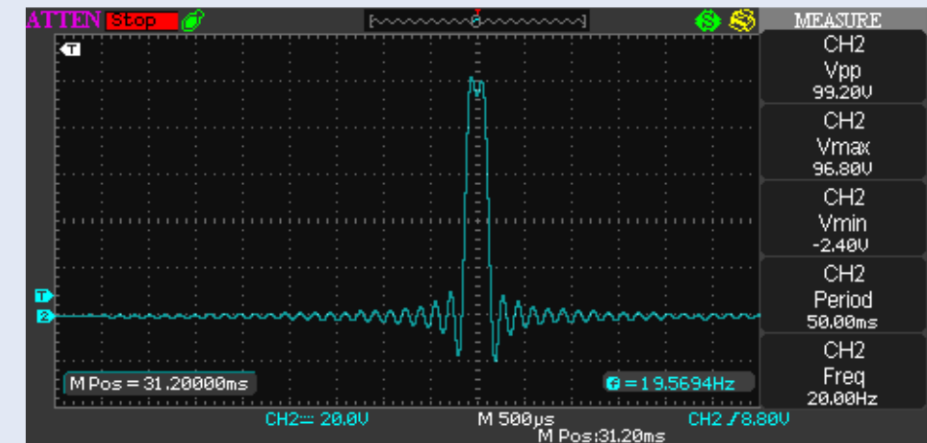
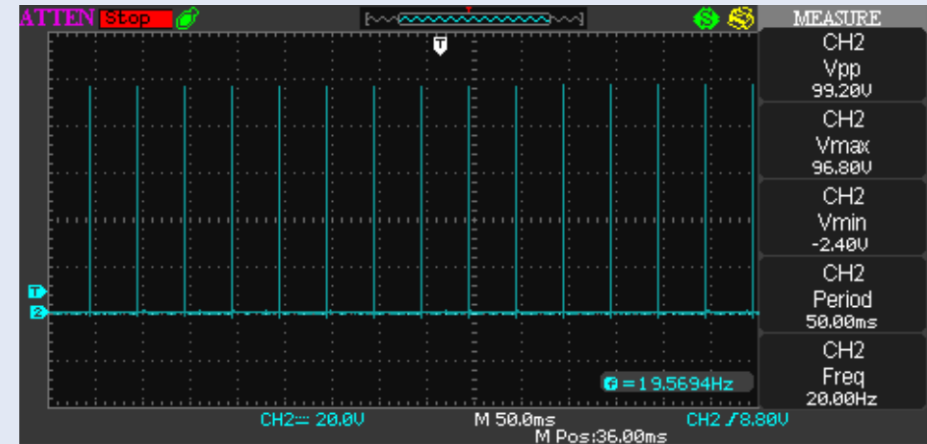
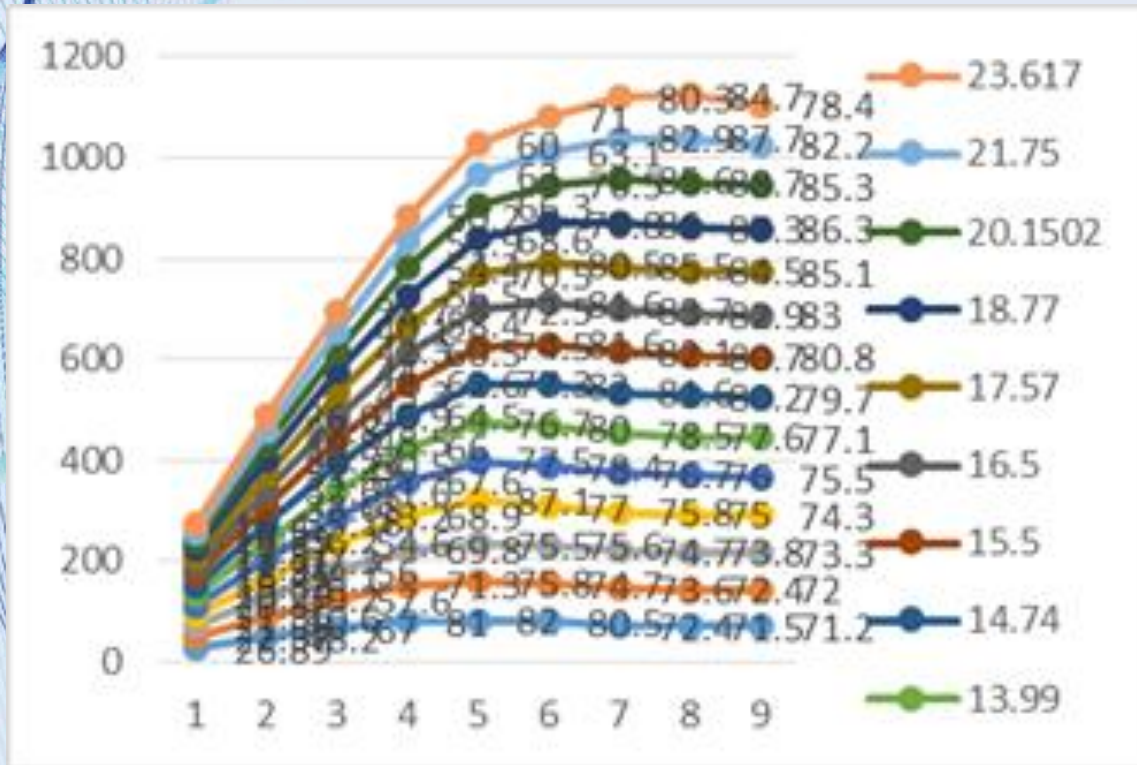
		Knee		Desired Range				
		Extension		NL	NM	NS	Z	PS
Error	NL	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
	NM	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
	NS	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
	Z	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
	PS	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
	PM	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL
	PL	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL

Error Knee Flexion	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
$\Delta TB$	PL	PM	PS	Z	NS	NM	NL

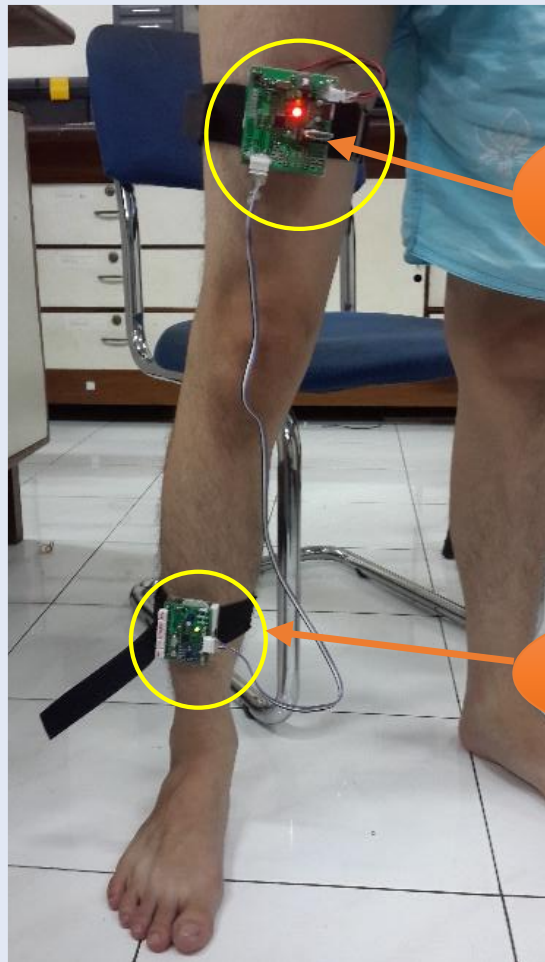


# Pengujian

# Uji Coba Electrical Stimulator



# Uji Coba Sensor



Master

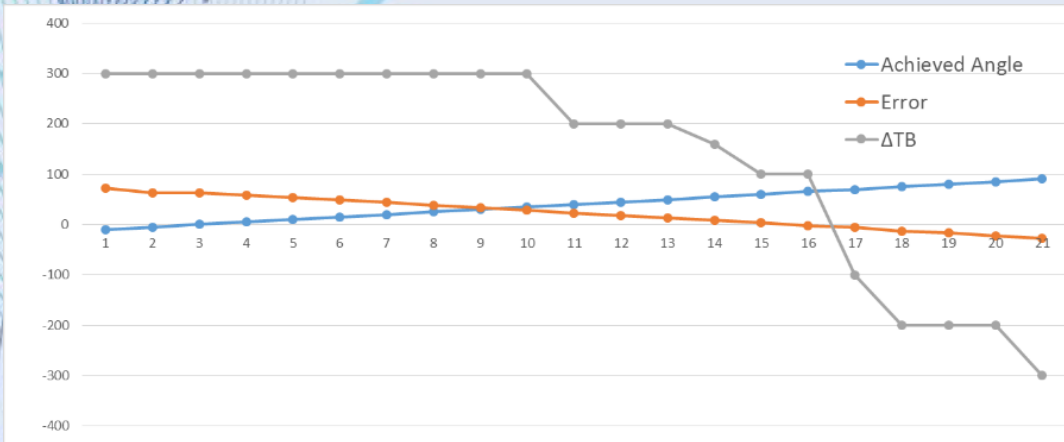
Slave



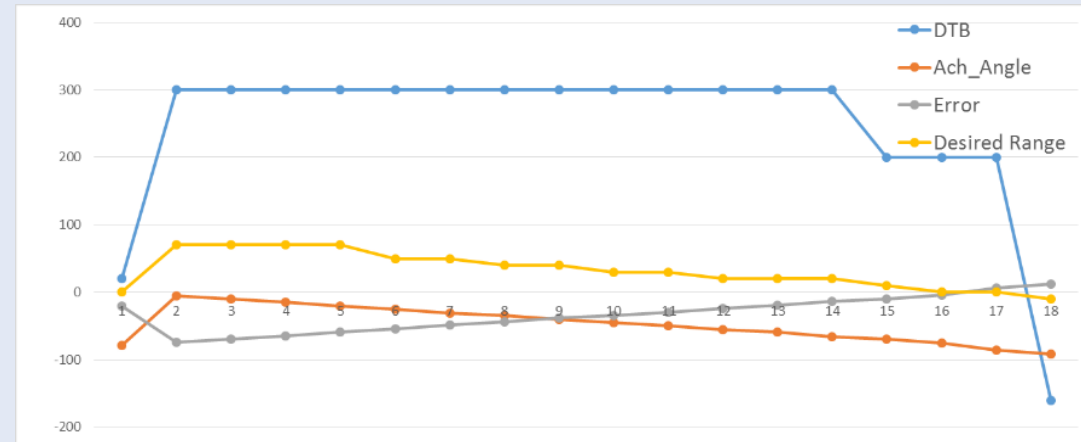
RMSE :  
0.714°



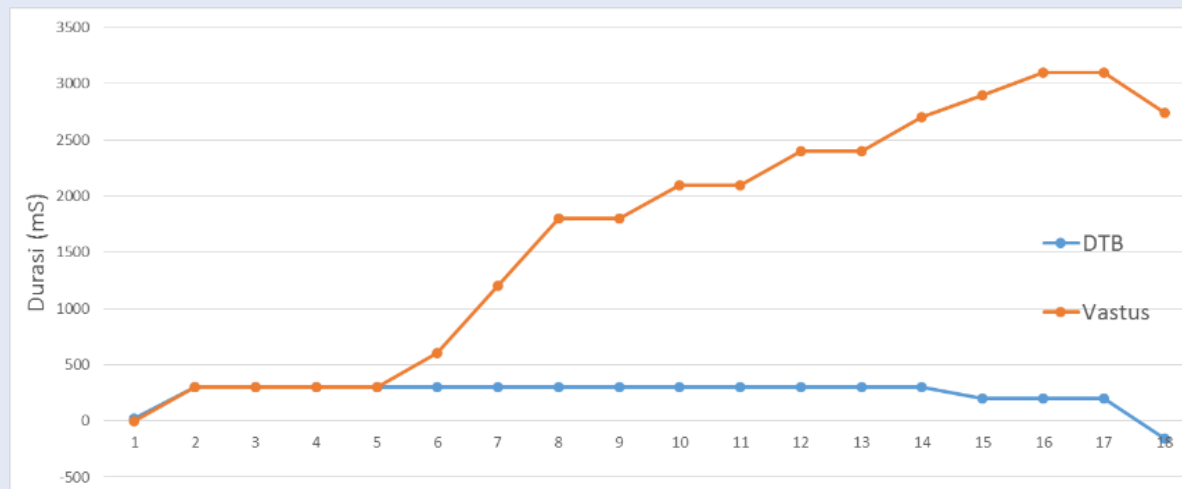
# Uji Coba Kontroler



Grafik perbandingan nilai input *error* terhadap  $\Delta$ TB pada *Knee Extension*



Grafik perbandingan nilai input *error* dan *desired range* terhadap  $\Delta$ TB pada *Knee Extension*



Hasil perbandingan nilai  $\Delta$ TB terhadap *burst duration* pada pin output

# Uji Coba Subyek (1)



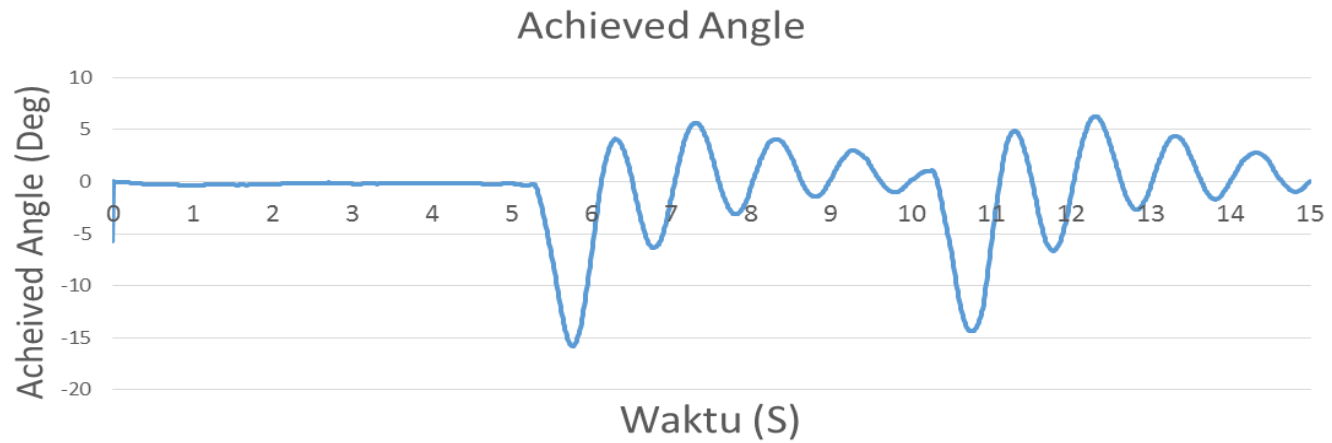
(a)



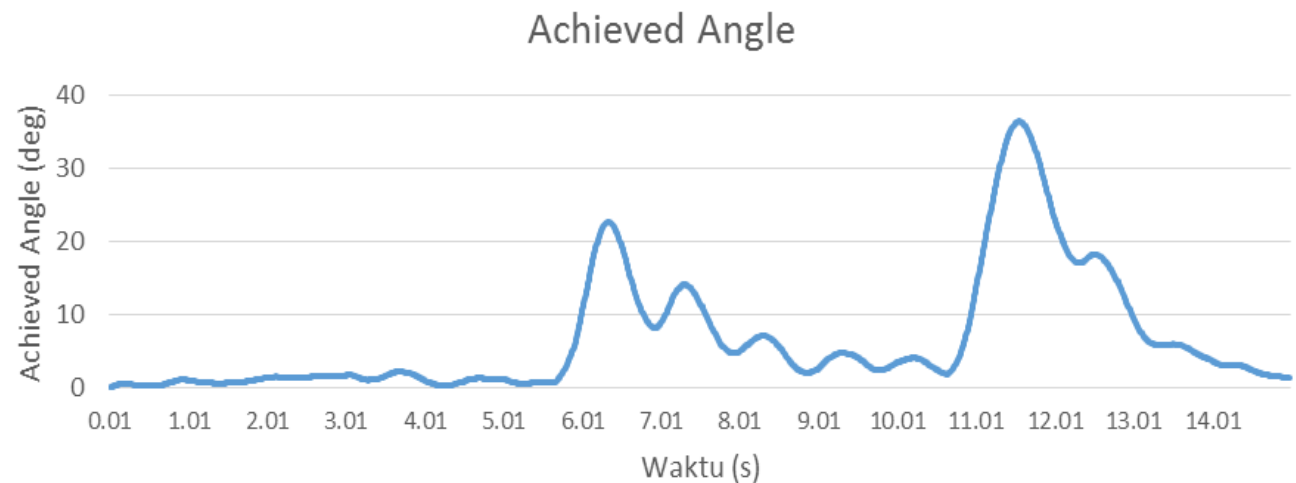
(b)

Pengambilan data pada subyek akan dilakukan pada dua posisi. Posisi (a) disebut sebagai posisi “berdiri” dan posisi (b) disebut sebagai posisi “duduk”

# Uji Coba Subyek (2)

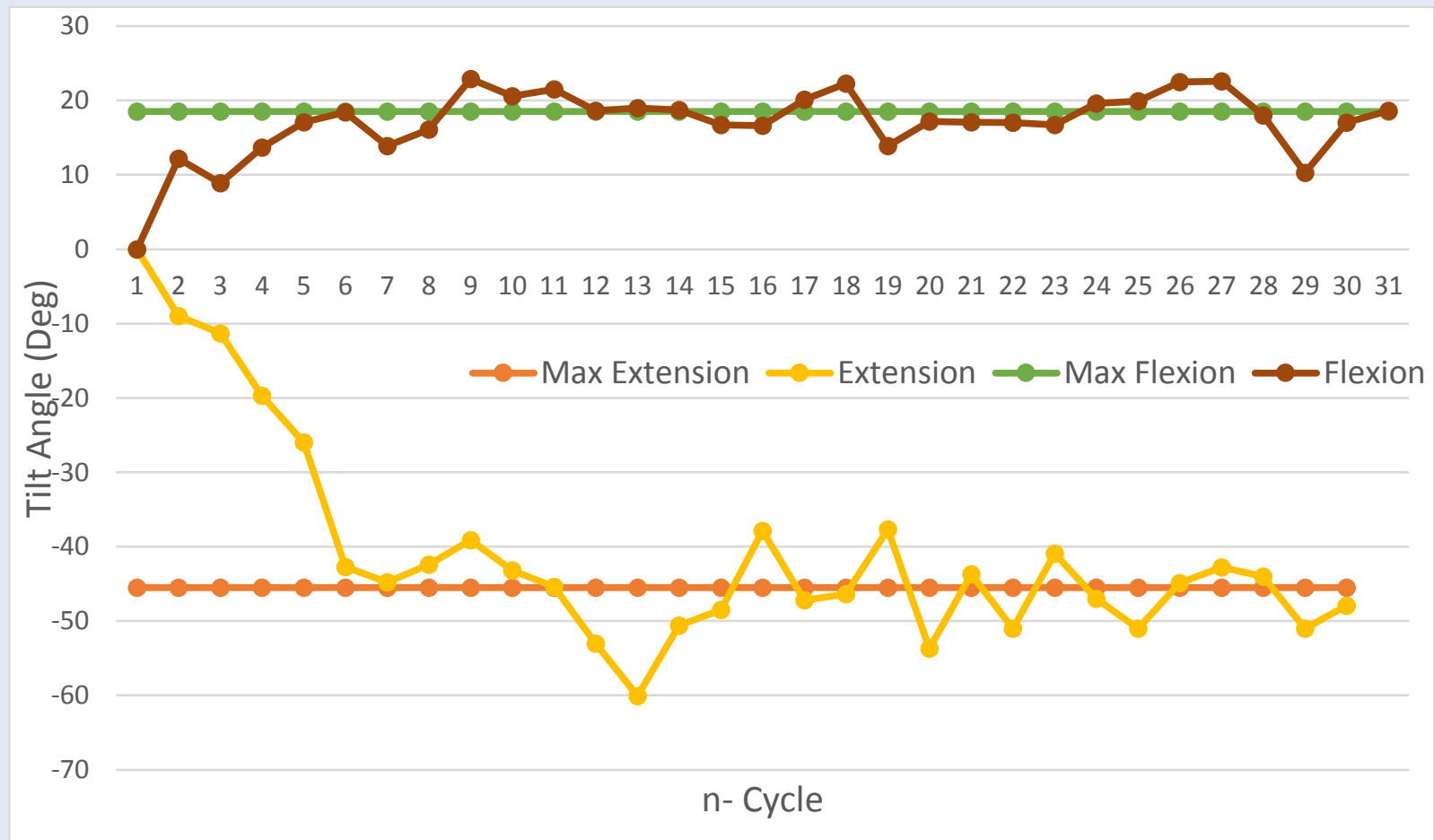


Knee Extension



Knee Flexion

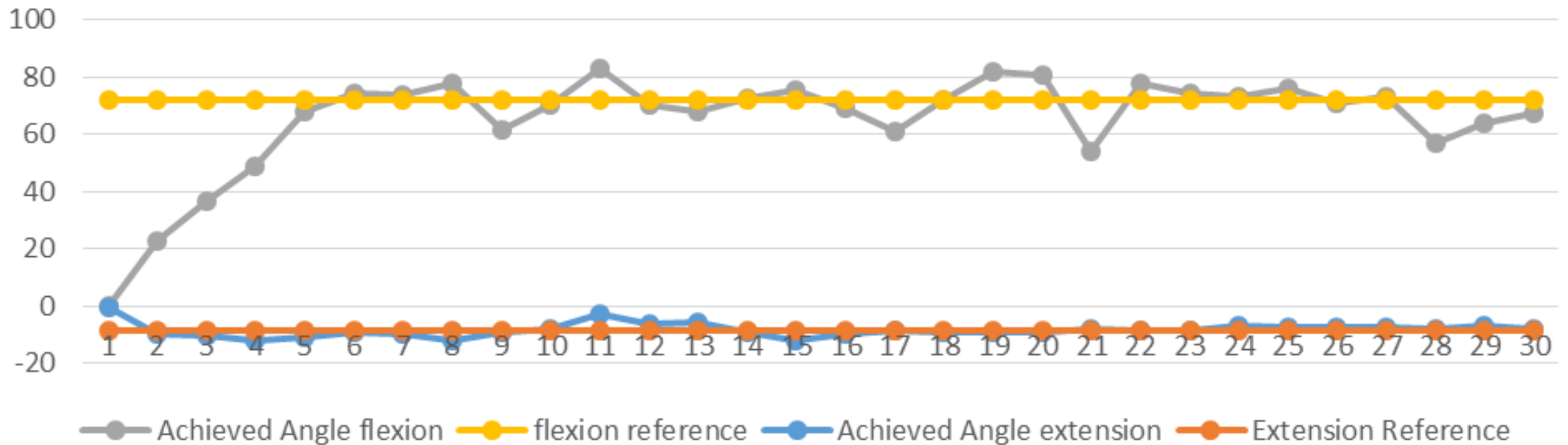
# Uji Coba Subyek (3)



Sitting

# Uji Coba Subyek (4)

Achieved Angle Subyek A



Standing

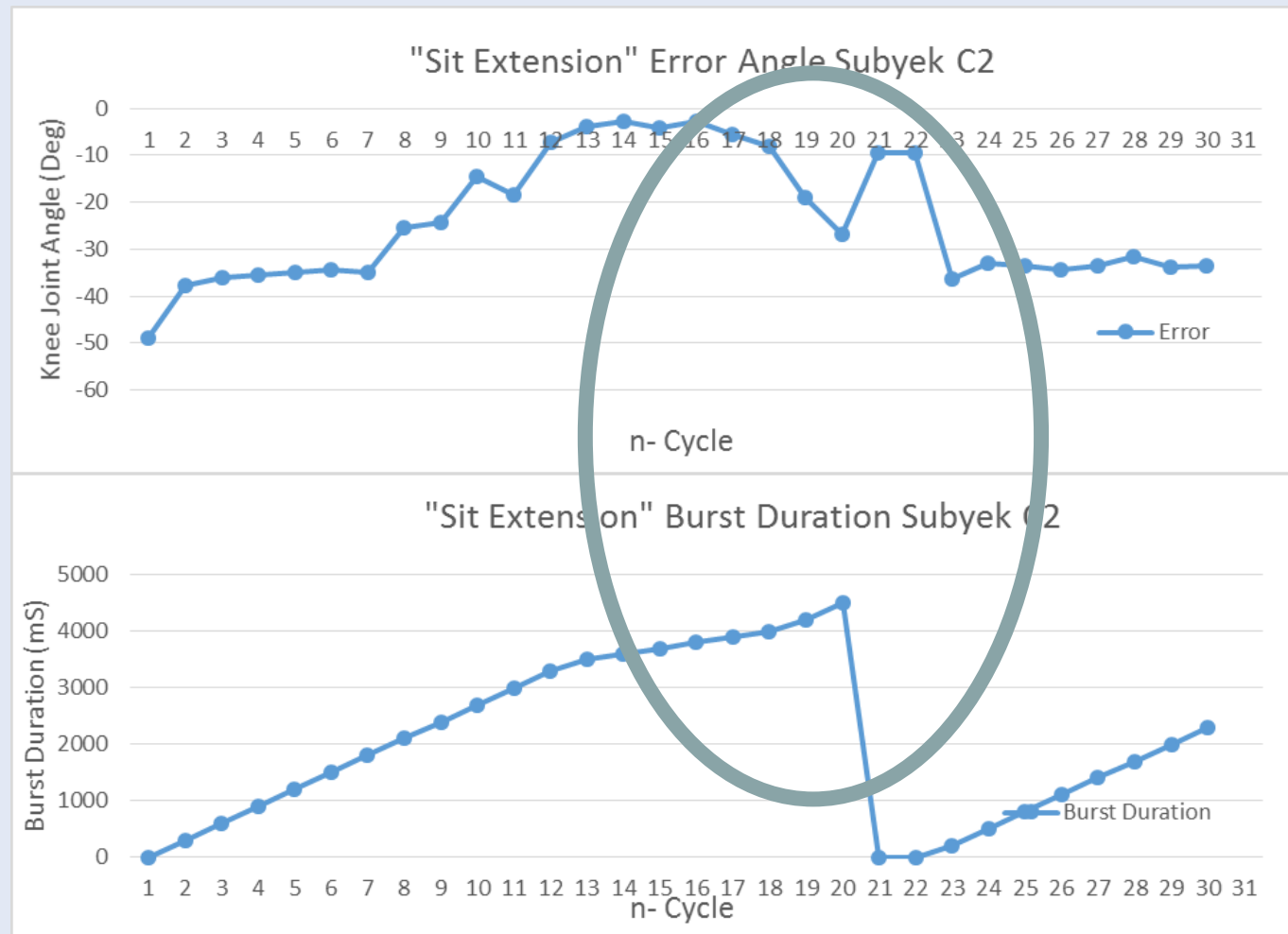
# Uji Coba Subyek (5)

Knee Extension	Settling Time (cycle)	Maximum Error rate (%)	RMSE (deg)
Subj A (Standing)	10	0%	0.277
Subj B (Standing)	10	4.76%	0.461
Subj A (Sitting)	9	28.57%	2.53
Subj B (Sitting)	7	42.86%	2.11

Knee Flexion	Settling Time (cycle)	Maximum Error rate (%)	RMSE (deg)
Subj A (Standing)	6	40%	3.55
Subj B (Standing)	6	28%	1.723
Subj A (Sitting)	8	4.76%	0.88
Subj B (Sitting)	6	33.33%	1.66

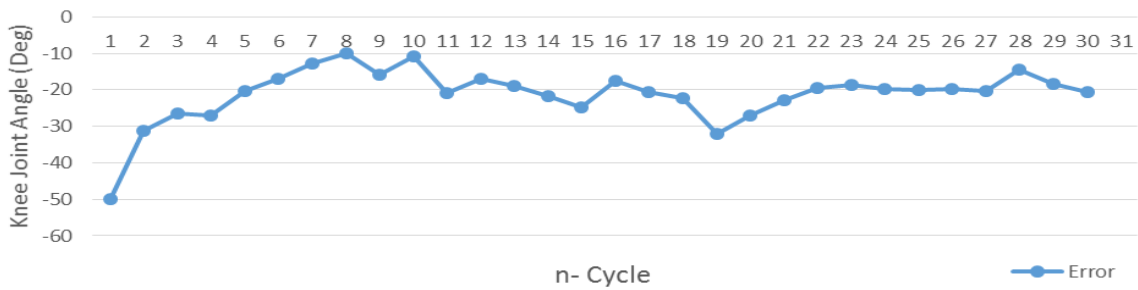
# Uji Coba Subyek (6)

Muscle Fatigue

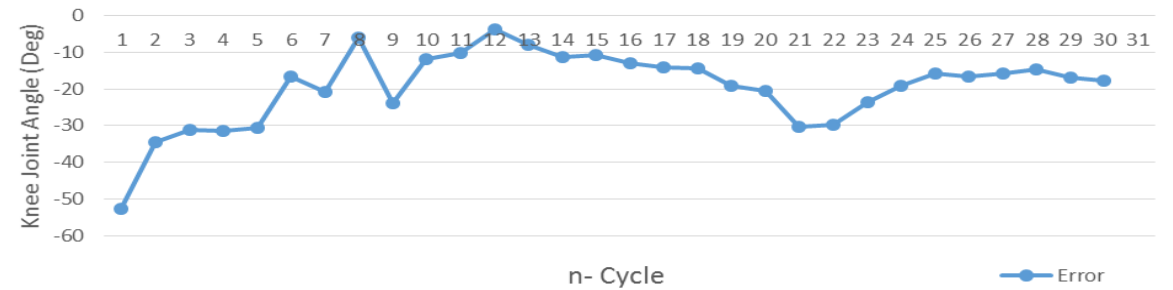


# Muscle Fatigue

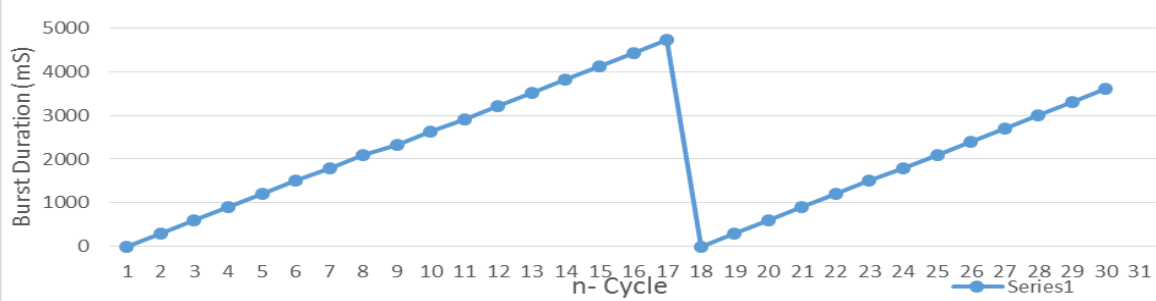
"Sit Extension" Error Angle Subyek E1



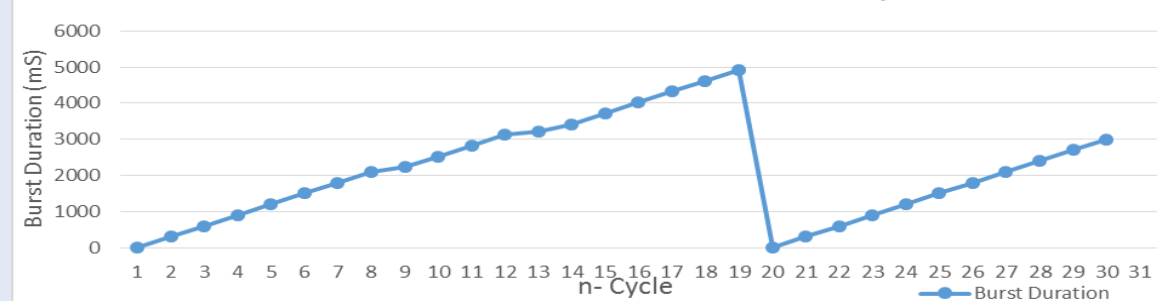
"Sit Extension" Error Angle Subyek E2



"Sit Extension" Burst Duration Subyek E1



"Sit Extension" Burst Duration Subyek E2







## Kesimpulan dan Saran

Sistem kendali *cycle-to-cycle* dapat dikatakan cukup handal ketika mendapatkan nilai  $\Delta TB$

Rata – rata *settling time* untuk *knee extension* posisi duduk adalah 6 *cycle*, sedangkan untuk posisi berdiri adalah 5 *cycle*. Untuk *knee flexion* posisi duduk adalah 7 *cycle*, sedangkan untuk posisi berdiri adalah 9 *cycle*.

Persentase keberhasilan penggunaan untuk *knee extension* saat berdiri 50% , saat duduk 68.75%. Sedangkan untuk *knee flexion* berdiri adalah 43.75% , dan duduk adalah 75%

## Kesimpulan dan Saran

Sistem kendali *cycle-to-cycle* dapat dikatakan cukup handal ketika mendapatkan nilai  $\Delta TB$


Rata – rata *settling time* untuk *knee extension* posisi duduk adalah 6 *cycle*, sedangkan untuk posisi berdiri adalah 5 *cycle*. Untuk *knee flexion* posisi duduk adalah 7 *cycle*, sedangkan untuk posisi berdiri adalah 9 *cycle*.

Persentase keberhasilan penggunaan untuk *knee extension* saat berdiri 50% , saat duduk 68.75%. Sedangkan untuk *knee flexion* berdiri adalah 43.75%%, dan duduk adalah 75%

Adanya faktor *muscle fatigue* pada saat pengambilan data



TERIMA KASIH



Studi Eksperimental *Wearable Functional Electrical Stimulation* pada Pergerakan *Knee Joint* dengan Menggunakan Sistem Kendali *Cycle-to-cycle Control*

Stanley Setiawan 2212100035

Dosen Pembimbing :  
Dr. Achmad Arifin, S.T., M.Eng.

# Knee Extension Duduk

Nama Subyek	Posisi	Settling Time (Cycles)	Maximum Error Percentage(%)	RMSE
A1	Duduk	6	28	2.53
A2	Duduk	6	40	2.65
B1	Duduk	7	40.91	1.90
B2	Duduk	6	40	2.11
C1	Duduk	7	70.83	4.42
C2	Duduk	7	80.95	4.98
D1	Duduk	3	32.14	1.87
D2	Duduk	3	7.14	1.81
E1	Duduk	8	100	4.11
E2	Duduk	8	95.65	3.99
F1	Duduk	8	95.65	4.14
F2	Duduk	5	50	2.095
G1	Duduk	3	35.71	1.86
G2	Duduk	4	18.52	1.8
H1	Duduk	3	10.71	1.54
H2	Duduk	2	48.27	2.696
<b>Rata - rata</b>		5.375	49.66	2.78

# Knee Extension Berdiri

Nama Subyek	Posisi	Settling Time (Cycles)	Maximum Error Percentage(%)	RMSE
A	Berdiri	8	0	0.27
B	Berdiri	2	4	0.47
C	Berdiri	2	0	0.47
D	Berdiri	5	0	0.62
E	Berdiri	6	0	0.41
F	Berdiri	1	44	0.87
G	Berdiri	1	0.97	2.17
H	Berdiri	6	100	2.82
<b>Rata - rata</b>		3.88	18.62	1.01

# Knee Flexion Duduk

Nama Subyek	Posisi	Settling Time (Cycles)	Maximum Error Percentage(%)	RMSE
A1	Duduk	9	4.5	0.89
A2	Duduk	4	7.4	0.73
B1	Duduk	7	100	2.92
B2	Duduk	6	28	1.67
C1	Duduk	8	0	0.46
C2	Duduk	8	21.4	1.23
D1	Duduk	2	31.03	1.04
D2	Duduk	6	16	0.82
E1	Duduk	6	0	0.87
E2	Duduk	3	0	0.31
F1	Duduk	4	92.59	1.85
F2	Duduk	6	100	1.97
G1	Duduk	6	8	0.99
G2	Duduk	15	18.75	1.53
H1	Duduk	6	4	0.86
H2	Duduk	6	20	1.37
<b>Rata - rata</b>		6.375	28.23	1.22

# Knee Flexion Berdiri

Nama Subyek	Posisi	Settling Time (Cycles)	Maximum Error Percentage(%)	RMSE
A1	Berdiri	5	38.46	3.43
A2	Berdiri	5	40.91	3.43
B1	Berdiri	6	31.82	1.67
B2	Berdiri	7	83.33	3.4
C1	Berdiri	8	100	4.51
C2	Berdiri	8	63.64	2.8
D1	Berdiri	2	75.86	2.92
D2	Berdiri	8	60.87	2.65
E1	Berdiri	9	100	9.16
E2	Berdiri	14	100	10.89
F1	Berdiri	21	100	7.07
F2	Berdiri	9	100	5.99
G1	Berdiri	7	100	6.58
G2	Berdiri	12	100	7.46
H1	Berdiri	12	94.74	7.40
H2	Berdiri	13	100	6.07
Rata - rata		9.125	80.60	5.34



