

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Gambar Rangkaian EMG Dilengkapi Bluetooth



**Gambar 4. 1** Rangkaian keseluruhan EMG dilengkapi bluetooth

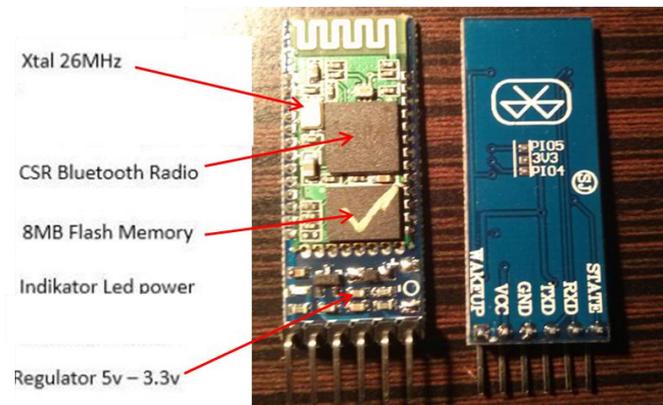
Perancangan EMG dilengkapi bluetooth dengan tampilan *personal computer* ini diawali dengan mempersiapkan dan mempelajari *literature* komponen, program *arduino* IDE dan program MatLab yang akan digunakan. Selanjutnya dilakukan perancangan dan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak atau program. Program terdiri dari dua bagian yaitu program yang akan ditanam pada chip mikrokontroler ATmega 328p pada board *arduino* yang dibangun menggunakan bahasa *Arduino Integrated Development Environment* (*Arduino* IDE) dan program antarmuka untuk akuisisi data yang dibangun menggunakan bahasa Matlab.

### 4.2 Pengujian Dan Pengukuran

#### 4.2.1 Mekanisme bluetooth

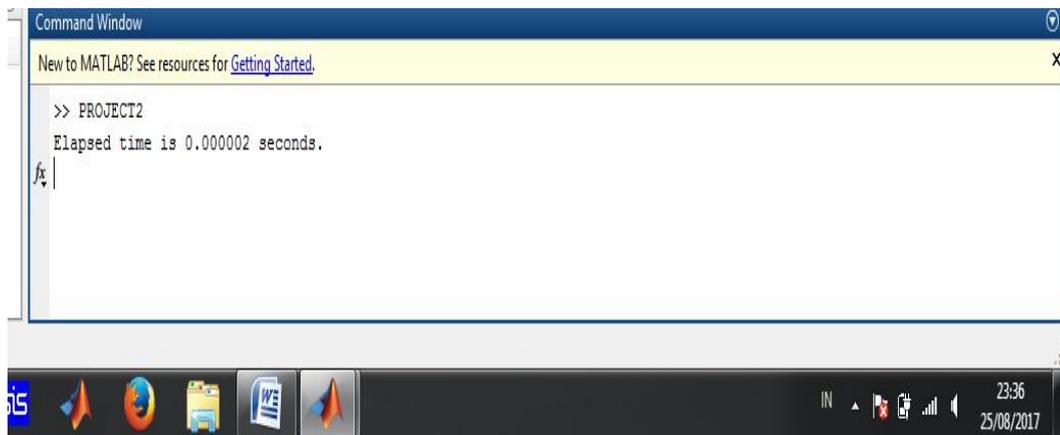
Penggunaan modul HC-05 seperti diperlihatkan pada gambar 4.2, berfungsi untuk mengumpulkan dan mengirimkan data ke komputer melalui pin RX dan TX pada modul tersebut. Perangkat utama dari modul ini antara lain *CSR bluetooth radio*, *flash memory*, xtal 26 Mhz, dan regulator 5v-3,3v. Perangkat-perangkat tersebut dapat dioperasikan pada daya rendah, sehingga modul ini dapat diberi catu daya dari baterai saja. Keluaran pengkondisi sinyal sebelum dikirim menggunakan modul *bluetooth* hc-05 akan masuk ke ADC internal terlebih dahulu pada modul *ArduinoUno*, kemudian data yang telah

diproses melalui ADC internal tersebut akan dikirim ke komputer melalui pin RX dan TX pada modul *bluetooth* HC-05.



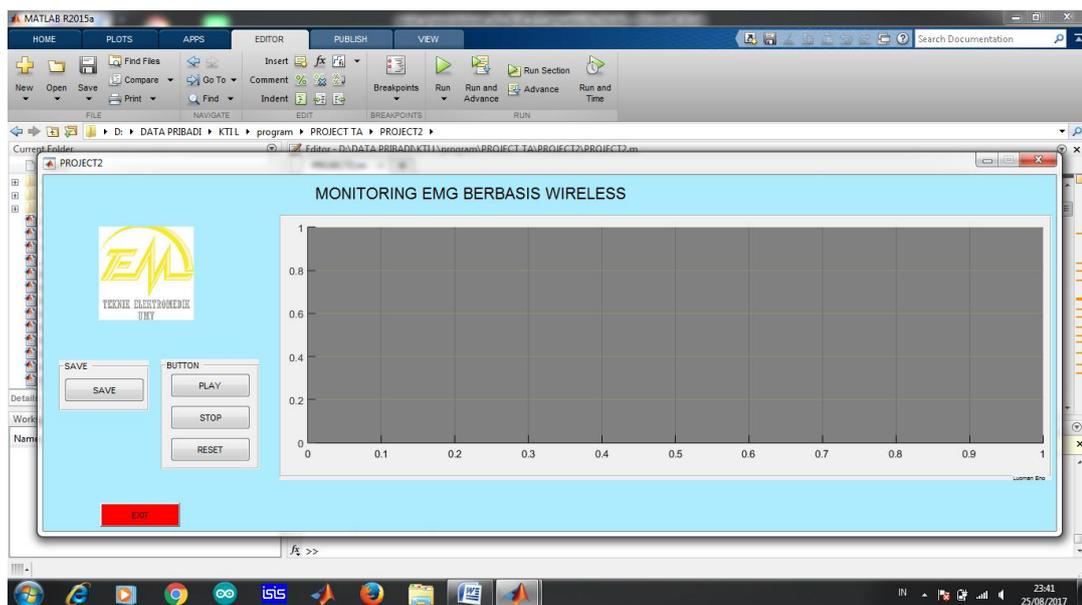
**Gambar 4. 2** Modul bluetooth hc-05 sebagai *transmitter* dan *receiver*

Data-data yang dikirim oleh modul *bluetooth* HC-05 diterima oleh komputer melalui *bluetooth* bawaan yang ada pada perangkat *PC* tersebut. Komputer akan mendeteksi modul *bluetooth* HC-05 sebagai *port communication* (COM) virtual. *Communication* (COM) virtual ini harus diatur terlebih dahulu dengan program komputer sebelum digunakan agar tidak terjadi *error* pada proses pengiriman sinyal. Pada penelitian ini, komputer mendeteksi perangkat *bluetooth* HC-05 sebagai COM 5. Data-data yang diterima komputer tidak terpengaruh oleh intervensi dari PLN. Kecepatan pengiriman data melalui RF data *transceiver* telah *disetting* sebesar 9600 bps, sehingga komunikasi untuk seluruh perangkat keras ini diset pada kecepatan transfer sebesar 9600 bps. Pada mekanisme *bluetooth* ini mampu mengirimkan dan menerima data yang ditampilkan pada software MatLab GUI. Pengiriman data ini berupa sinyal analog secara terus menerus, akan tetapi pada saat proses penampilan sinyal analog di *PC* mengalami delay yang disebabkan oleh kapasitas software MatLab yang terlalu besar.



**Gambar 4. 3** Proses pengiriman sinyal EMG

Gambar diatas merupakan proses pengiriman data dari EMG ke PC, dimana pada proses tersebut masih menunjukkan delay karena pnerimaan data dari EMG ke PC masih menggunakan bluetooth bawaan dari PC.



**Gambar 4. 4** Tampilan layar utama ketika EMG telah terhubung dengan *personal computer*

Gambar diatas merupakan proses ketika data berhasil di terima oleh PC kemudian akan menampilkan layar utama untuk monitor sinyal EMG. Tampilan tersebut akan menunjukkan gambaran grafik berupa sinyal analog yang dihasilkan dari aktifitas kontraksi otot

#### 4.2.2 Pengujian dengan alat pembanding

Setelah pembuatan modul tugas akhir maka perlu diadakan pengujian dan pengukuran. Tujuan dari pengujian dan pengukuran adalah untuk mengetahui ketepatan masing-masing bagian komponen dari rangkaian modul tugas akhir apakah telah bekerja sesuai dengan fungsinya seperti yang telah direncanakan. Untuk memastikan alat EMG hasil penelitian ini bekerja dengan baik, maka diperlukan pengukuran kinerja alat EMG secara keseluruhan. Pengukuran kinerja alat EMG dilakukan dengan membandingkan kinerja alat *EMG* hasil penelitian ini dengan alat *elektromiograf* yang sudah terkalibrasi.

Berikut ini data dan spesifikasi dari alat *elektromiograf* yang digunakan sebagai pembanding dalam penelitian :

Nama : Natus UltraPro S100

Merk/Type : Alpine Biomed Aps

Lokasi : RSUD A. Wahab Sjahranie Samarinda



**Gambar 4. 5** Alat pembanding Natus UltraPro S100

Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan sinyal *peak to peak* pada alat EMG pembanding (Natus UltraPro S100) dengan alat EMG hasil penelitian pada saat terjadi kontraksi pada otot tangan. Standar operasional prosedur pengujian modul yaitu sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan yang digunakan.
2. Memasang elektroda pada titik-titik yang sudah di tentukan pada bagian tangan. Sebelum memasang elektroda terlebih dahulu bagian yang ingin

ditempelkan elektroda untuk dibersihkan menggunakan tisu alkohol atau sejenisnya.

3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat bantu elektro stimulator sebagai alat bantu kontraksi.
4. Mencatat hasil-hasil pengukuran pada tabel yang telah dibuat.

### 4.3 Hasil Pengukuran

Setelah melakukan pengujian seperti diatas, didapatkan hasil pengukuran modul tugas akhir dengan alat pembanding. Pengujian dilakukan dengan pengambilan data pada bagian tangan di mana tiap tangan terdapat dua titik pengambilan data yaitu pada bagian *radialis* dan pada bagian *biceps*.

Pengambilan di titik *radialis* dikarenakan pada titik tersebut merupakan titik yang mencakup bagian tangan lengan bawah sedangkan titik *biceps*

merupakan titik yang mencakup bagian lengan atas. Berikut merupakan gambar letak penempatan elektroda pada bagian *radialis* dan *biceps* :



**Gambar 4. 6** Titik penempatan elektroda pada bagian radialis dan *biceps*

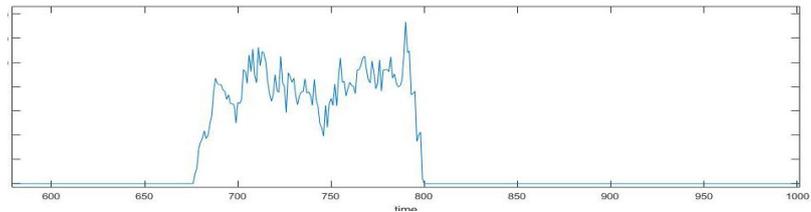
Adapun gambar sinyal dari pengambilan data modul alat *elektromigraf* adalah sebagai berikut.

a. Luqman,

- umur : 23 Th

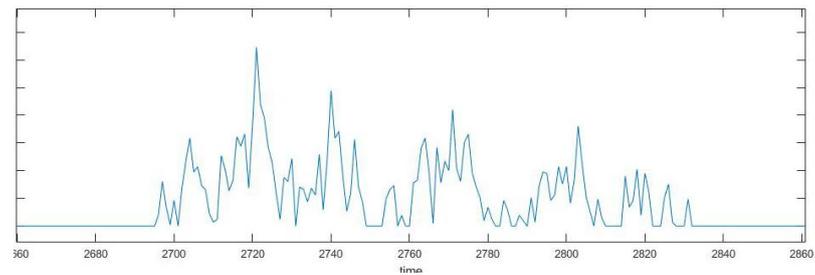
- berat badan : 63 Kg.

- Saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kanan



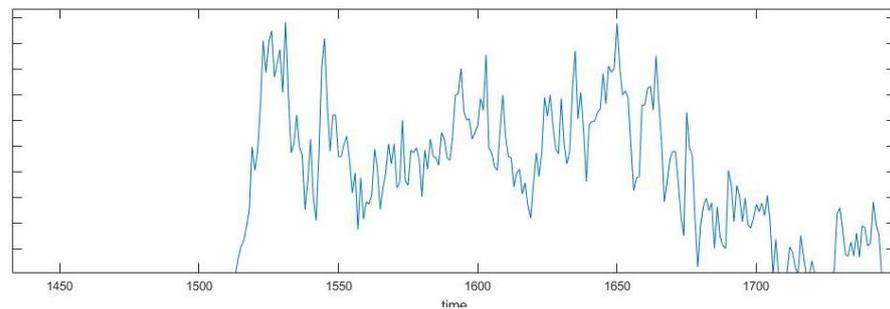
**Gambar 4. 7** Kontraksi otot radialis tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kanan



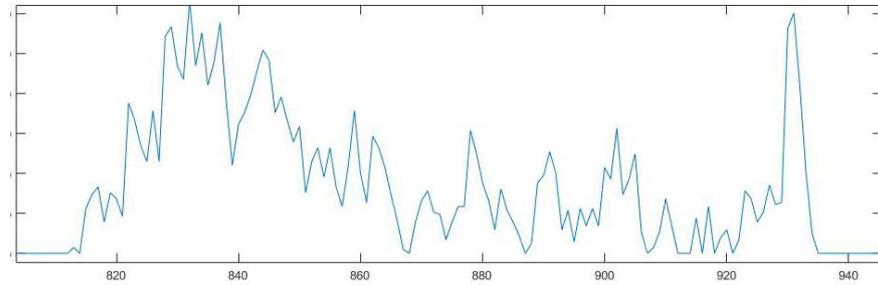
**Gambar 4. 8** Kontraksi otot bicep tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kiri



**Gambar 4. 9** Kontraksi otot radialis tangan kiri

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kiri



**Gambar 4. 10** Kontraksi otot bicep tangan kiri

Berikut tegangan yang di keluarkan dari pengukuran modul *EMG*

**Tabel 4. 1** Tegangan keluaran pada modul EMG dan Pembanding

Nama Pasien	Data pasien		MODUL		PEMBANDING	
			Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2
LUQMAN	Kanan	Kontraksi Radialis	1,49	1,64	1,61	1,49
		Kontraksi Bicep	0,82	0,95	0,88	0,92
	Kiri	Kontraksi Radialis	1,18	1,2	1,12	1,29
		Kontraksi Bicep	0,62	0,79	0,79	0,63

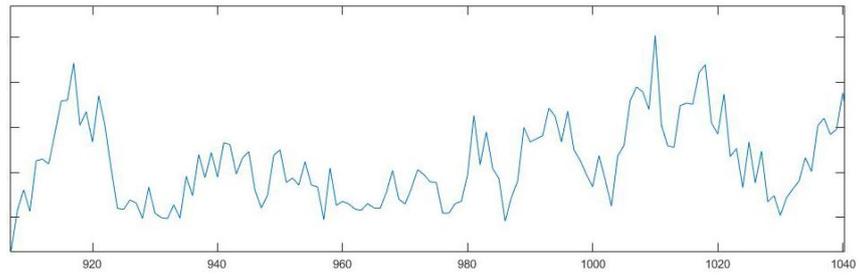
Pada Tabel 4.1 merupakan hasil perbandingan pembacaan modul EMG dengan alat pembanding Natus UltraPro S100 pada pasien luqman. Hasil data pengujian di atas untuk Luqman pada tangan kanan dan kiri bicep menghasilkan sinyal normal. Hal ini dapat dilihat dari tegangan yang di hasilkan berkisar antara *range* sinyal RMS EMG 0,5 – 2 mV. Sedangkan untuk hasil pada tangan kanan dan kiri radialis juga menghasilkan sinyal normal. Hal ini dapat dilihat dari tegangan yang di hasilkan berkisar antara *range* sinyal RMS EMG 0,5 – 5 mV.

b. Lius

- umur : 26 Th

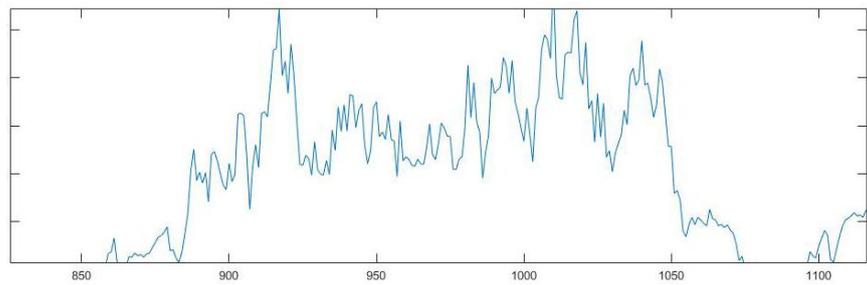
- berat badan : 55 Kg.

- Saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kanan



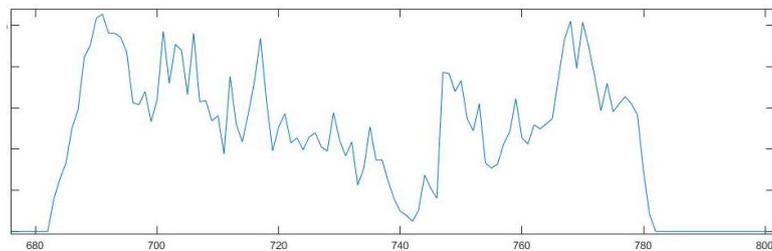
**Gambar 4. 11** Kontraksi otot radialis tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kanan



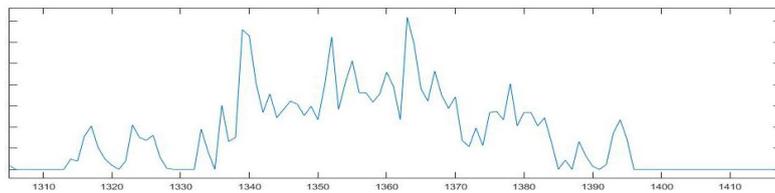
**Gambar 4. 12** Kontraksi otot bicep tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kiri



**Gambar 4. 13** Kontraksi otot radialis tangan kiri

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kiri



**Gambar 4. 14** Kontraksi otot bicep tangan kiri

Berikut tegangan yang di keluarkan dari pengukuran modul *EMG*

**Tabel 4. 2** Tegangan keluaran pada modul EMG dan Pembanding

Nama Pasien	Data pasien		MODUL		PEMBANDING	
			Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2
LIUS	Kanan	Kontraksi Radialis	3,75	3,05	3,58	3,27
		Kontraksi Bicep	2,75	2,75	2,78	2,76
	Kiri	Kontraksi Radialis	1,17	1,12	1,16	1,14
		Kontraksi Bicep	0,7	0,8	0,79	0,72

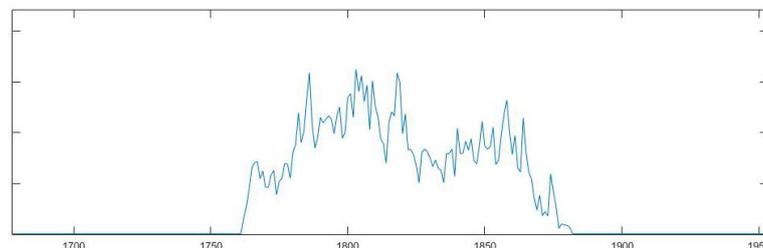
Pada Tabel 4.2 merupakan hasil perbandingan pembacaan modul EMG dengan alat pembanding Natus UltraPro S100 pada pasien lius. Hasil data pengujian di atas untuk Lius pada tangan kanan menghasilkan sinyal abnormal karena tegangan yang dihasilkan diluar *range* sinyal RMS EMG 0,5 – 2 mV dan pada tangan kiri bicep menghasilkan sinyal normal karena tegangan yang di hasilkan berada pada *range* sinyal RMS EMG 0,5 – 2 mV. Sedangkan untuk hasil pada tangan kanan dan kiri radialis juga menghasilkan sinyal normal. Hal ini dapat dilihat dari tegangan yang di hasilkan berkisar antara range sinyal RMS EMG 0,5 – 5 mV.

c. Neli

- umur : 22 Th

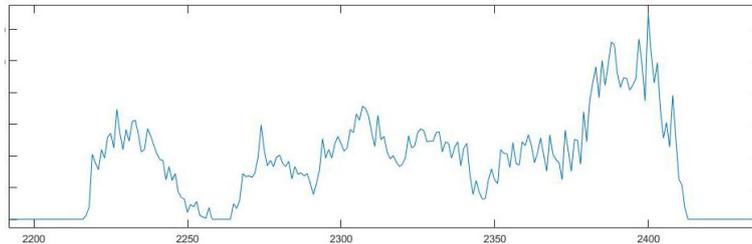
- berat badan : 53 Kg.

- Saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kanan



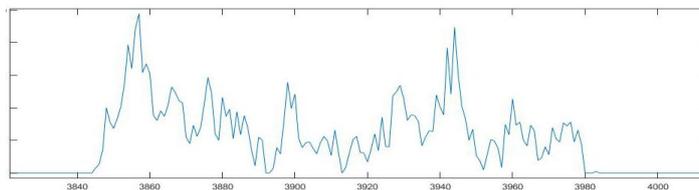
**Gambar 4. 15** Kontraksi otot radialis tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kanan



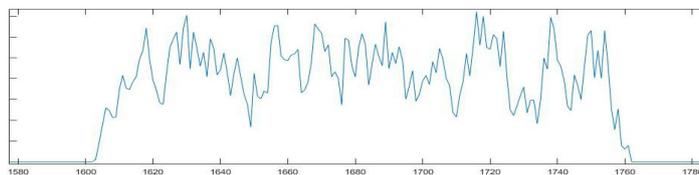
**Gambar 4. 16** Kontraksi otot bicep tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kiri



**Gambar 4. 17** Kontraksi otot radialis tangan kiri

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kiri



**Gambar 4. 18** Kontraksi otot bicep tangan kiri

Berikut tegangan yang di keluarkan dari pengukuran modul *EMG*

**Tabel 4. 3** Tegangan keluaran pada modul EMG dan Pembanding

Nama Pasien	Data pasien		MODUL		PEMBANDING	
			Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2
NELI	Kanan	Kontraksi Radialis	0,89	1,62	0,81	1,71
		Kontraksi Bicep	1,52	1,39	1,58	1,34
	Kiri	Kontraksi Radialis	1,46	1,47	1,49	1,47
		Kontraksi Bicep	0,97	0,88	0,92	0,94

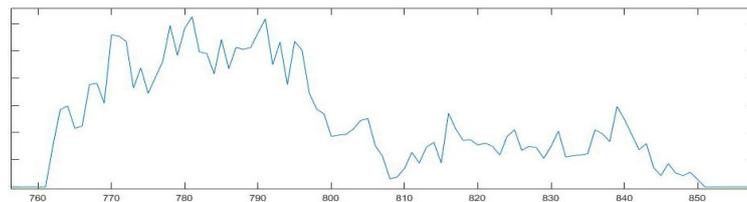
Pada Tabel 4.3 merupakan hasil perbandingan pembacaan modul EMG dengan alat pembanding Natus UltraPro S100 pada pasien neli. Hasil data pengujian di atas untuk Neli pada tangan kanan dan kiri bicep menghasilkan sinyal normal. Hal ini dapat dilihat dari tegangan yang di hasilkan berkisar antara *range* sinyal RMS EMG 0,5 – 2 mV. Sedangkan untuk hasil pada tangan kanan dan kiri radialis juga menghasilkan sinyal normal. Hal ini dapat dilihat dari tegangan yang di hasilkan berkisar antara *range* sinyal RMS EMG 0,5 – 5 mV.

d. Kautsar

- umur : 27 Th

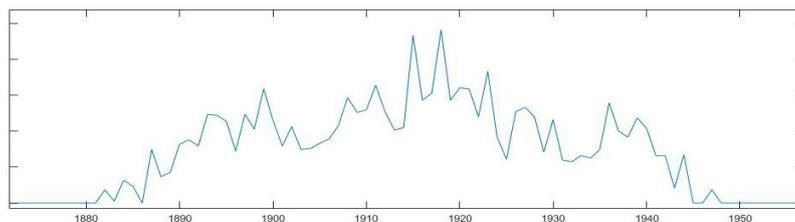
- berat badan : 51 Kg.

- Saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kanan



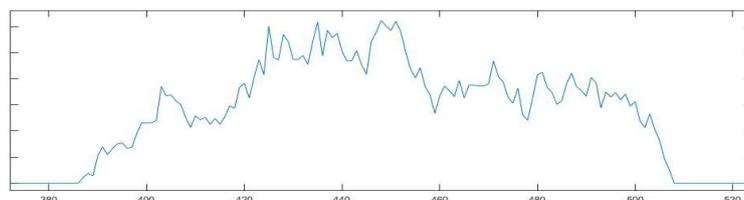
**Gambar 4. 19** Kontraksi otot radialis tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kanan



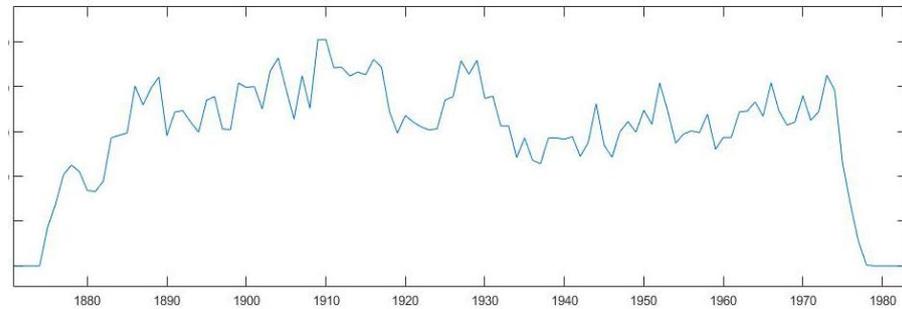
**Gambar 4. 20** Kontraksi otot bicep tangan kanan

- saat kontraksi pada bagian *Radialis* tangan kiri



**Gambar 4. 21** Kontraksi otot radialis tangan kiri

- saat kontraksi pada bagian *bicep* tangan kiri



**Gambar 4. 22** Kontraksi otot bicep tangan kiri

Berikut tegangan yang di keluarkan dari pengukuran modul *EMG*

**Tabel 4. 4** Tegangan keluaran pada modul *EMG* dan Pembanding

Nama Pasien	Data pasien		MODUL		PEMBANDING	
			Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2	Pengukuran ke-1	Pengukuran ke-2
KAUTSAR	Kanan	Kontraksi Radialis	1,32	1,28	1,26	1,37
		Kontraksi Bicep	0,97	0,92	0,93	0,95
	Kiri	Kontraksi Radialis	3,34	2,96	3,41	2,97
		Kontraksi Bicep	2,5	2,63	2,33	2,87

Pada Tabel 4.4 merupakan hasil perbandingan pembacaan modul *EMG* dengan alat pembanding Natus UltraPro S100 pada pasien Kautsar. Hasil data pengujian di atas untuk Kautsar pada tangan kiri menghasilkan sinyal abnormal karena tegangan yang dihasilkan diluar *range* sinyal RMS *EMG* 0,5 – 2 mV dan pada tangan kanan bicep menghasilkan sinyal normal karena tegangan yang di hasilkan berada pada *range* sinyal RMS *EMG* 0,5 – 2 mV. Sedangkan untuk hasil pada tangan kanan dan kiri radialis juga menghasilkan sinyal normal. Hal ini dapat dilihat dari tegangan yang di hasilkan berkisar antara range sinyal RMS *EMG* 0,5 – 5 mV.

Nilai perbandingan rata-rata tegangan sinyal *peak to peak* pada alat *EMG* terkalibrasi dengan nilai pada alat *EMG* hasil penelitian saat kontraksi disajikan pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Perbandingan alat *EMG* terkalibrasi dengan hasil penelitian

Nama Pasien	Data pasien		Rata - rata Modul	Rata - rata Pemanding	SELISIH	Error
LIUS	Kanan	Kontraksi Radialis	3,4	3,425	0,025	0,73%
		Kontraksi Bicep	2,75	2,77	0,02	0,72%
	Kiri	Kontraksi Radialis	1,145	1,15	0,005	0,43%
		Kontraksi Bicep	0,75	0,755	0,005	0,66%
NELI	Kanan	Kontraksi Radialis	1,255	1,26	0,005	0,40%
		Kontraksi Bicep	1,455	1,46	0,005	0,34%
	Kiri	Kontraksi Radialis	1,465	1,48	0,015	1,01%
		Kontraksi Bicep	0,925	0,93	0,005	0,54%
KAUTSAR	Kanan	Kontraksi Radialis	1,3	1,315	0,015	1,14%
		Kontraksi Bicep	0,945	0,94	-0,005	0,53%
	Kiri	Kontraksi Radialis	3,15	3,19	0,04	1,25%
		Kontraksi Bicep	2,565	2,6	0,035	1,35%
LUQMAN	Kanan	Kontraksi Radialis	1,565	1,55	-0,015	0,97%
		Kontraksi Bicep	0,885	0,9	0,015	1,67%
	Kiri	Kontraksi Radialis	1,19	1,205	0,015	1,24%
		Kontraksi Bicep	0,705	0,71	0,005	0,70%

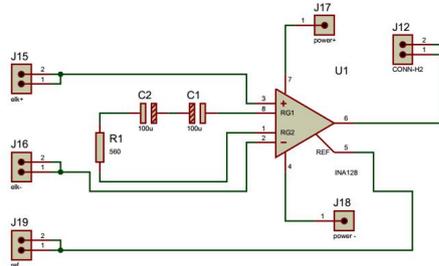
Pada Tabel 4.5 hasil perhitungan analisis data diatas dapat diketahui bahwa hasil pengukuran modul tugas akhir yang penulis buat tidak berbeda jauh dengan alat pembanding. Hal ini dapat dilihat melalui nilai hasil rata-rata, simpangan, dan nilai persen *error* alat *EMG* pada aktifitas otot saat kontraksi tiap pasien.

Nilai simpangan yang dihasilkan modul tugas akhir paling kecil adalah 0,005 sedangkan nilai simpangan paling besar yaitu 0,035 pada saat kontraksi. Semakin kecil nilai simpangan yang dihasilkan ini menunjukkan bahwa alat yang dibuat semakin baik.

Dalam penelitian ini, jika persen *error* yang dihasilkan semakin kecil maka data hasil pengukuran alat semakin baik. Tabel 4.1 menunjukkan nilai *error* terkecil 0,57 % dan nilai *error* terbesar 0,80% sehingga di dapatkan rata-rata *error* untuk setiap pasien yaitu 0,66%. Hasil ini menunjukkan bahwa alat mampu membaca nilai tagangan dengan baik pada saat kontraksi.

## 4.4 Pembahasan

### 4.4.1 Rangkaian Instrumentasi



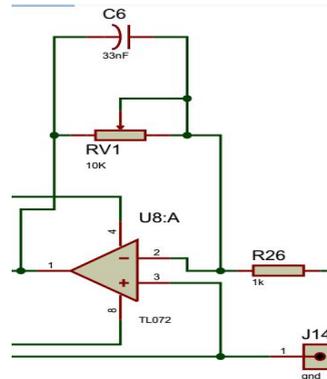
**Gambar 4. 23** Rangkaian instrumen

Rangkaian instrumen terdiri dari rangkaian penguat instrumentasi dari IC INA128. IC INA128 dibentuk dari tiga *operational amplifier* yang dirancang sedemikian rupa sehingga terdapat dua *op-amp* (A1 dan A2) yang dihubungkan dengan satu *op-amp* (A3) dengan konfigurasi penguat *diferensial*. IC INA128 ini akan bekerja ketika diberi masukan tegangan +9 volt dan -9 volt dari rangkaian catu daya. Besar penguatan dari rangkaian instrumentasi pada rangkaian *pre-amplifier* ini adalah sebesar 90,2 kali penguatan. Berikut perhitungan dan pengukuran dari besarnya penguatan pada rangkaian instrumen INA 128 :

$$\begin{aligned} G &= 1 + \frac{50 K}{R_g} \\ &= 1 + \frac{50 K}{560 \Omega} \\ &= 90,2 \times \end{aligned}$$

Penguatan sebesar 90,2 kali didapatkan dengan pengaturan dan pemberian besaran  $R_g$  yang dihubungkan pada pin 1 dan 8 (pin  $R_g$ , *Resistor Gain*) dari IC INA128. Berdasarkan rangkaian *pre-amplifier* yang telah dibuat sesuai dengan skematik pada gambar,  $R_g$  pada rangkaian *pre-amplifier* didapatkan dengan memberikan besaran  $R_1$  dan  $R_2$ . *Resistor*  $R_1$  dan  $R_2$  di beri besaran nilai 560  $\Omega$ , dimana  $R_1$  dan  $R_2$  disusun secara seri-paralel. Dengan demikian didapatkan penguatan sebesar 90,2 kali.

#### 4.4.2 Rangkaian Lowpass Filter



Gambar 4. 24 Rangkaian LPF

Rangkaian *lowpass filter* digunakan untuk meloloskan *frekuensi* rendah dan menyaring *frekuensi* tinggi. Untuk mengetahui *frekuensi cut-off* pada rangkaian filter LPF dilakukan perhitungan dan pengukuran sebagai berikut:

Perhitungan *frekuensi cut-off* LPF

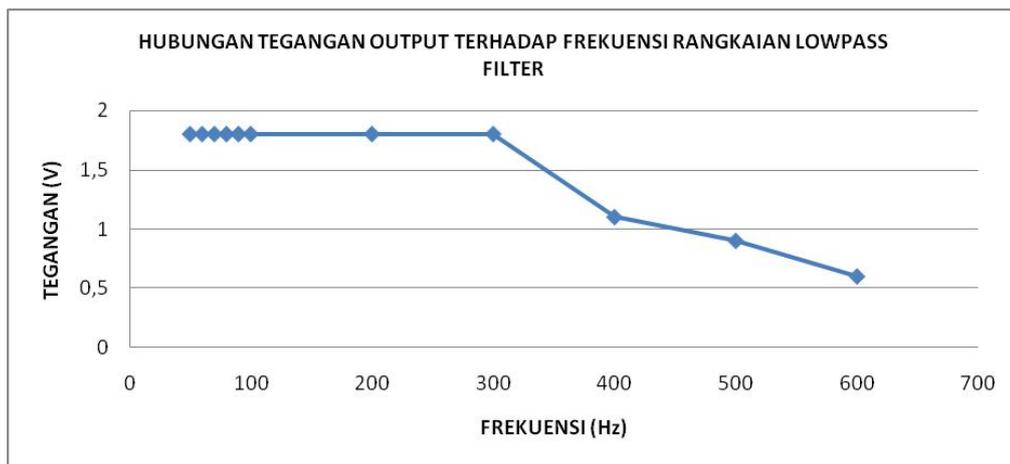
$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi RC} \\ &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 10 \text{ k}\Omega \times 33 \text{ nF}} \\ &= \frac{1}{2072,40 \times 10^{-6}} \\ &= 482,5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Untuk menguji keberhasilan dan kinerja dari rangkaian *lowpass filter* digunakan *function* generator sebagai pemberi tegangan masukan dan untuk melihat respon tampilan sinyal keluaran dari rangkaian *lowpass filter* maka digunakan osiloskop. Dari data hasil pengamatan rangkaian *lowpass filter* pada tabel 4.6 dapat dilihat bahwa pada *frekuensi* 400 Hz mulai terjadi penurunan tegangan *Volt Peak to Peak* (VPP). Karena perhitungan cut off dari rangkaian *low pass filter* adalah 482,5 Hz sehingga tegangan VPP dengan *frekuensi* diatas *cut off* akan diredam. Kinerja rangkaian *lowpass filter* disajikan pada tabel 4.6.

**Tabel 4. 6** Data hasil pengamatan Rangkaian *Lowpass Filter*

No	Frekuensi (Hz)	Hasil Ukur Oscilloscope		
		Volt/DIV (V)	DIV/Kotak	VPP
1	50	1	1,8	1,8
2	60	1	1,8	1,8
3	70	1	1,8	1,8
4	80	1	1,8	1,8
5	90	1	1,8	1,8
6	100	1	1,8	1,8
7	200	1	1,8	1,8
8	300	1	1,6	1,6
9	400	1	1,1	1,1
10	500	1	0,9	0,9
10	600	1	0,6	0,6

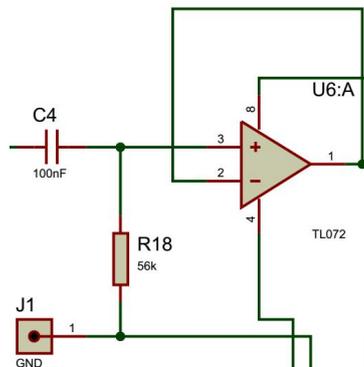
Adapun data gambar sinyal keluaran dari rangkaian *lowpass filter* disajikan pada lampiran. Gambar 4.23 adalah gambar grafik hubungan tegangan output dari rangkaian *lowpass filter* terhadap *frekuensi*.



**Gambar 4. 25** Hubungan tegangan output terhadap *frekuensi* rangkaian LPF

Berdasarkan pengamatan secara visual pada grafik dapat dilihat bahwa rangkaian *lowpass filter* pada penelitian ini telah mampu bekerja dengan baik. Pola grafik pada gambar 4.23 menunjukkan bahwa rangkaian *lowpass filter* yang telah dibuat mampu meloloskan *frekuensi* dibawah *frekuensi cut-off* yaitu 482,5 Hz.

#### 4.4.3 Rangkaian *Highpass filter*



**Gambar 4. 26** Rangkaian HPF

Rangkaian HPF disini berfungsi sebagai *coupling* DC sehingga sinyal EMG yang berada diatas atau dibawah *ground* akan otomatis berada tepat di tengah *ground*. Untuk mengetahui *frekuensi cut-off* pada rangkaian filter HPF dilakukan perhitungan dan pengukuran sebagai berikut:

Perhitungan *frekuensi cut-off* HPF

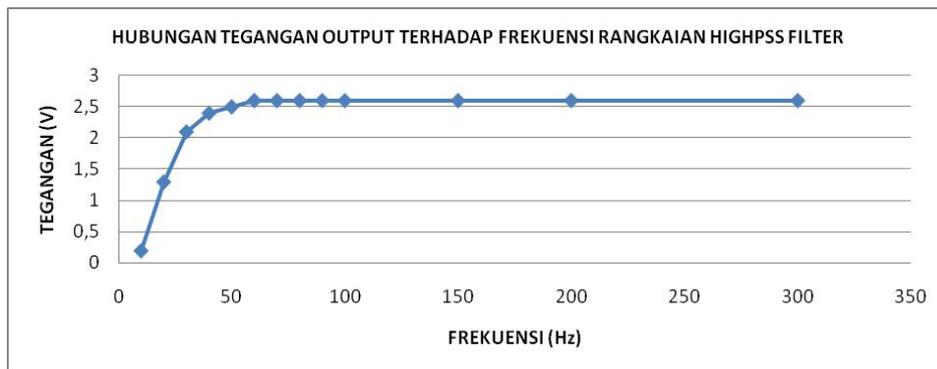
$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi RC} \\ &= \frac{1}{2 \times 3,14 \times 56 \text{ k}\Omega \times 100 \text{ nF}} \\ &= \frac{1}{35168 \times 10^{-6}} \\ &= 28,4 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Untuk menguji keberhasilan dan kinerja dari rangkaian *highpass filter* digunakan function generator sebagai pemberi tegangan masukan dan untuk melihat respon tampilan sinyal keluaran dari rangkaian *highpass filter* maka digunakan osiloskop. Dari data hasil pengamatan rangkaian *highpass filter* pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada *frekuensi* 50 Hz mulai terjadi penurunan tegangan *Volt Peak to Peak* (VPP). Karena perhitungan cut off dari rangkaian *high pass filter* adalah 28,4 Hz, sehingga tegangan VPP dengan frekuensi dibawah *cut off* akan redam . Kinerja rangkaian *highpass filter* disajikan pada tabel 4.7.

**Tabel 4. 7** Data hasil pengamatan Rangkaian *Highpass filter*

No	Frekuensi (Hz)	Hasil Ukur CRO		
		Volt/DIV (V)	DIV/Kotak	VPP
1	300	1	2.6	2.6
2	200	1	2.6	2.6
3	150	1	2.6	2.6
4	100	1	2.6	2.6
5	90	1	2.6	2.6
6	80	1	2.6	2.6
7	70	1	2.6	2.6
8	60	1	2.6	2.6
9	50	1	2.5	2.5
10	40	1	2.4	2.4
11	30	1	2.1	2.1
12	20	1	1.3	1.3
13	10	1	0.2	0.2

Adapun data gambar sinyal keluaran dari rangkaian *highpass filter* disajikan pada lampiran. Gambar 4.25 adalah gambar grafik hubungan tegangan output dari rangkaian *highpass filter* terhadap *frekuensi*.



**Gambar 4. 27** Hubungan tegangan output terhadap *frekuensi* rangkaian HPF

Berdasarkan pengamatan secara visual pada grafik gambar 4.25 dapat dilihat bahwa rangkaian *highpass filter* pada penelitian ini telah mampu bekerja dengan baik. Pola grafik pada gambar 4.25 menunjukkan bahwa rangkaian *highpass filter* yang telah dibuat mampu meloloskan *frekuensi* diatas *frekuensi cut-off* yaitu 28,4 Hz.