

BAB IV

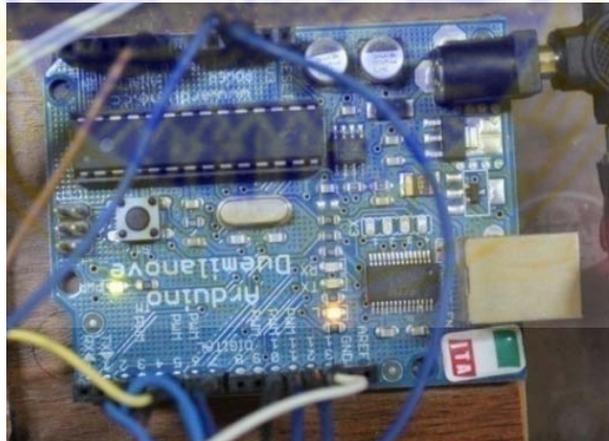
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Alat

4.1.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras (*hardware*) yang telah berhasil dibuat pada penelitian ini adalah alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) berbasis mikrokontroler. Perangkat keras (*hardware*) pada penelitian ini terdiri dari arduino duemilanove, rangkaian catu daya, rangkaian sensor MPX5050DP, rangkaian *relay*, rangkaian *push button*, dan rangkaian LCD. Penjelasan hasil pembuatan alat perangkat keras (*hardware*) adalah sebagai berikut:

4.1.1.1 Arduino Duemilanove



Gambar 4.1 Hasil rangkaian dengan arduino duemilanove

Pada penelitian ini mikrokontroler yang digunakan adalah ATmega 328 yang telah tergabung menjadi minimum sistem dalam arduino duemilanove. Arduino duemilanove pada penelitian ini berfungsi untuk memprogram lama

waktu terapi, mengaktifkan dan menon-aktifkan *vacuum pump* ULVAC, monitoring nilai tekanan yang terdeteksi oleh sensor MPX5050DP, dan menampilkan tampilan *timer* dan tekanan pada LCD. Hasil rangkaian dengan arduino duemilanove tersaji pada Gambar 4.1.

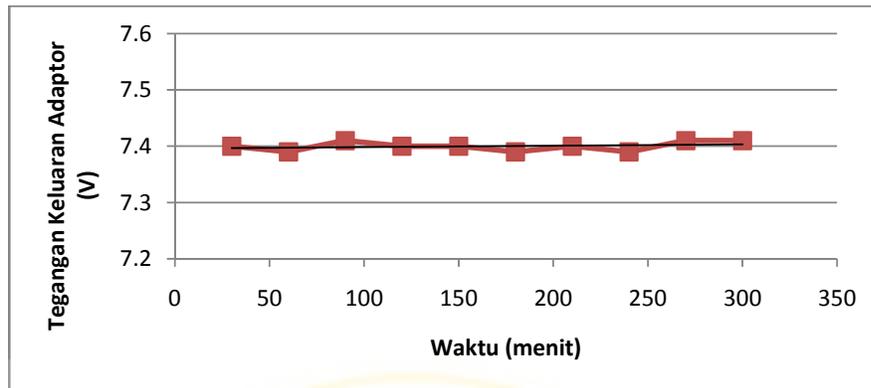
4.1.1.2 Rangkaian Catu Daya

Pada rangkaian catu daya ini digunakan adaptor untuk mengubah tegangan listrik AC 220V menjadi tegangan DC. Rangkaian adaptor dilengkapi dengan 2 kapasitor 2200 μ F agar catu daya tidak terbebani oleh aktivasi *relay*. Rangkaian catu daya pada penelitian ini digunakan untuk menyuplai tegangan pada arduino duemilanove dan *relay*.

Pada penelitian ini tegangan keluaran adaptor yang digunakan adalah sebesar 7,5 V. Tabel tegangan keluaran adaptor terhadap waktu tersaji pada Tabel 4.1. Adapun hubungan antara tegangan keluaran adaptor dengan waktu tersaji pada Gambar 4.2. Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin lama waktu, tegangan keluaran dari adaptor stabil dengan nilai rata-rata tegangan keluaran sebesar $(7,4\pm 0,01)$ V. Hasil dari rangkaian catu daya terdapat pada Gambar 4.3.

Tabel 4.1 Hubungan antara tegangan keluaran adaptor dengan waktu

No.	Waktu (menit)	Tegangan Keluaran Adaptor (V)
1.	$(30\pm 0,0167)$	$(7,4\pm 0,01)$
2.	$(60\pm 0,0167)$	$(7,39\pm 0,01)$
3.	$(90\pm 0,0167)$	$(7,41\pm 0,01)$
4.	$(120\pm 0,0167)$	$(7,4\pm 0,01)$
5.	$(150\pm 0,0167)$	$(7,4\pm 0,01)$
6.	$(180\pm 0,0167)$	$(7,39\pm 0,01)$
7.	$(210\pm 0,0167)$	$(7,4\pm 0,01)$
8.	$(240\pm 0,0167)$	$(7,39\pm 0,01)$
9.	$(270\pm 0,0167)$	$(7,41\pm 0,01)$
10	$(300\pm 0,0167)$	$(7,41\pm 0,01)$
	\bar{x}	$(7,4\pm 0,01)$



Gambar 4.2 Hubungan antara tegangan keluaran adaptor dengan waktu



Gambar 4.3 Hasil rangkaian catu daya

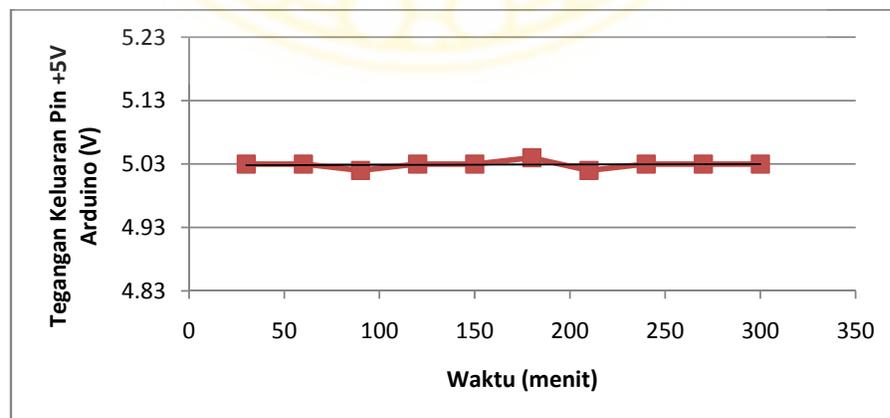
4.1.1.3 Rangkaian Sensor MPX5050DP

Pada rangkaian sensor MPX5050DP *Vout* (pin 1) dihubungkan dengan pin *Analog IN 0* pada arduino duemilanove. Pada arduino duemilanove pin *ANALOG IN 0* akan terhubung dengan ADC, sehingga data keluaran sensor MPX5050DP yang berupa data analog dirubah menjadi data digital. *Ground* (pin 2) dihubungkan dengan pin *ground* pada arduino duemilanove, *Vs* dihubungkan dengan pin +5V pada arduino duemilanove, dan pin 4, 5, 6 tidak digunakan. Pada *Vout* (pin 1) dan *ground* (pin 2) dihubungkan dengan kapasitor 22 pF yang berfungsi sebagai *filter*.

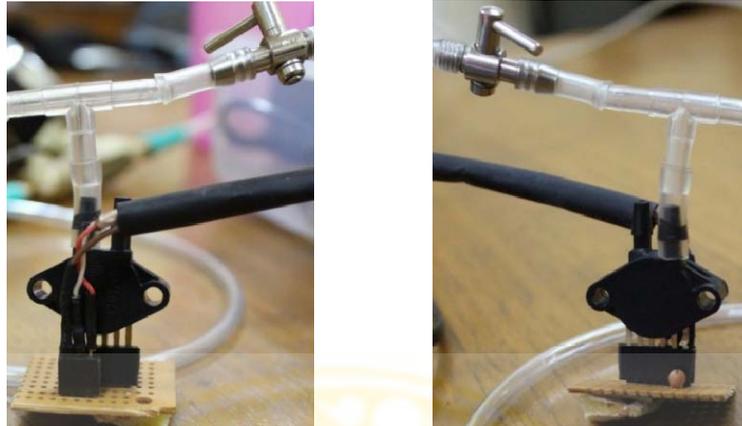
Berdasarkan data pada Lampiran 1, tegangan input yang dibutuhkan sensor MPX5050DP adalah 4,75-5,25 V. Data lengkap tegangan keluaran pin +5V pada arduino duemilanove dengan waktu tersaji pada Tabel 4.2. Adapun hubungan antara tegangan keluaran pin +5V pada arduino duemilanove (V) dengan waktu (menit) tersaji pada Gambar 4.4. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa semakin lama waktu, tegangan keluaran pin +5V pada arduino duemilanove stabil dengan rata-rata tegangan keluaran ($5,029 \pm 0,01$) V. Hasil dari rangkaian sensor MPX5050DP terdapat pada Gambar 4.5.

Tabel 4.2 Hubungan antara tegangan keluaran pin +5V dengan waktu

No.	Waktu (menit)	Tegangan Keluaran Pin +5V pada Arduino Duemilanove (V)
1.	(30±0,0167)	(5.03±0,01)
2.	(60±0,0167)	(5.03±0,01)
3.	(90±0,0167)	(5.02±0,01)
4.	(120±0,0167)	(5.03±0,01)
5.	(150±0,0167)	(5.03±0,01)
6.	(180±0,0167)	(5.04±0,01)
7.	(210±0,0167)	(5.02±0,01)
8.	(240±0,0167)	(5.03±0,01)
9.	(270±0,0167)	(5.03±0,01)
10	(300±0,0167)	(5.03±0,01)
	\bar{x}	(5.029±0,01)



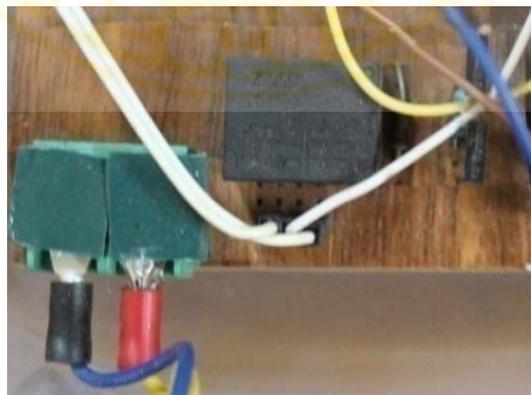
Gambar 4.4 Hubungan antara tegangan keluaran pin +5V pada arduino duemilanove dengan waktu



Gambar 4.5 Hasil rangkaian sensor MPX5050DP

4.1.1.4 Rangkaian *Relay*

Rangkaian *relay* pada penelitian ini terdiri dari *relay* 5 pin (pada penelitian ini yang digunakan hanya pin *normally open*), dioda untuk mencegah adanya arus balik pada rangkaian, transistor yang digunakan untuk saklar otomatis dan resistor 560 Ohm sebagai penghambat arus. Rangkaian *relay* ini terhubung dengan arduino duemilanove dengan bantuan pin digital 13. Rangkaian *relay* ini terhubung dengan *vacuum pump* ULVAC, sehingga *vacuum pump* dapat aktif dan non-aktif secara otomatis. Hasil dari rangkaian *relay* tersaji pada Gambar 4.6.

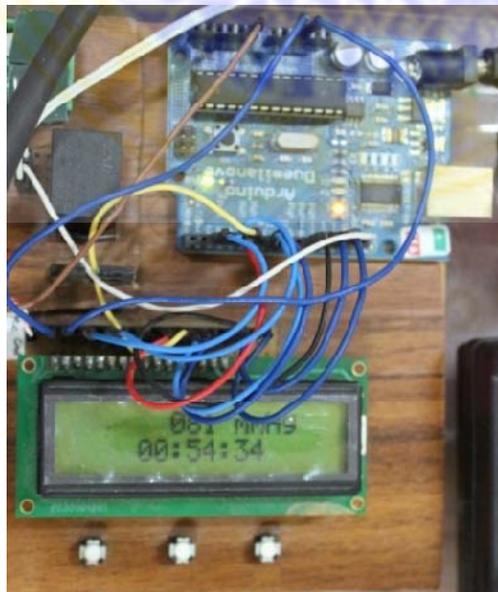


Gambar 4.6 Hasil rangkaian *relay*

4.1.1.5 Rangkaian *Push Button* dan LCD

Pada penelitian ini *push button* digunakan untuk *setting* lama waktu terapi. *Push button* yang digunakan berjumlah 3 buah yang masing-masing terhubung dengan pin digital 10, 11, dan 12. Pada penelitian ini digunakan LCD dot matriks karakter 2x16 untuk tampilan lama waktu terapi dan nilai tekanan yang dibaca sensor MPX5050DP. Rangkaian LCD terdiri dari resistor variabel yang digunakan untuk mengatur tegangan kontras pada LCD dot matriks, serta resistor 220 ohm yang digunakan untuk membatasi tegangan untuk LED pada LCD.

LCD dot matriks karakter 2x16 memiliki 16 pin. Pin RS dihubungkan dengan pin digital 2, pin EN (*enable*) dengan pin digital 3, pin D4 dengan pin digital 4, pin D5 dengan pin digital 5, pin D6 dengan pin digital 6, dan pin D7 dengan pin digital 7. Hasil rangkaian *push button* dan LCD terdapat pada Gambar 4.7. Adapun skematik rangkaian alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) tersaji pada Lampiran 13.



Rangkaian
LCD

Rangkaian
Push Button

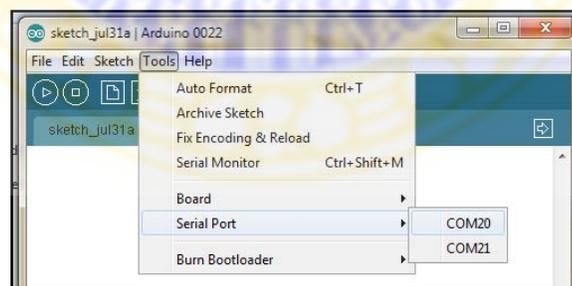
Gambar 4.7 Hasil rangkaian *push button* dan LCD

4.1.2 Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk program alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) ditulis dengan bahasa setara bahasa C dengan menggunakan *software* arduino-0022. Program yang dibuat pada penelitian ini adalah *setting* lama waktu terapi, pengontrolan *relay*, pembacaan *push button*, pembacaan respon tegangan sensor MPX5050DP, dan tampilan tekanan dan waktu pada LCD.

4.1.2.1 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*) pada Arduino Duemilanove

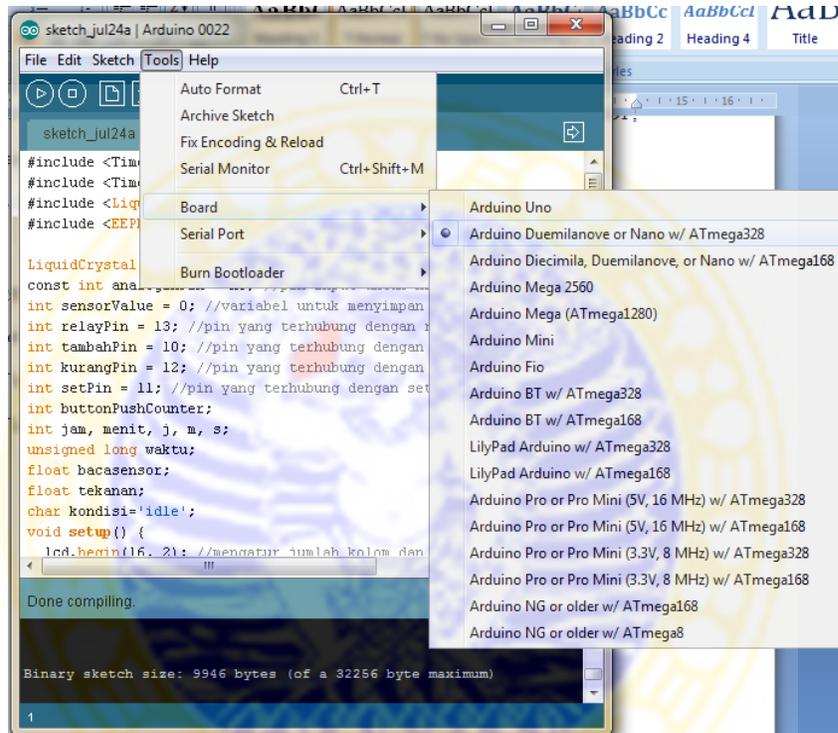
Arduino duemilanove yang digunakan pada penelitian ini telah tertanam *bootloader* untuk menangani komunikasi serial/USB dengan komputer. Pilihan *serial port* yang digunakan *board* arduino duemilanove terdapat pada menu *Tools>Serial Port*. Pilihan *serial port* pada *software* arduino-0022 tersaji pada Gambar 4.8. Pilihan *board* arduino yang dipakai terdapat pada menu *Tools>Board*. Pilihan *board* pada *software* arduino-0022 tersaji pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Pilihan *serial port* pada *software* arduino-0022

Program yang telah dibuat dapat diverifikasi dengan menekan tombol *verify*. Apabila tidak terdapat *error* pada program, maka program dapat disimpan dengan menekan tombol *save* dan kemudian dapat di-*upload* ke arduino duemilanove dengan menekan tombol *upload*. Tombol *verify*, *save*, dan *upload*

telah tersaji pada software arduino seperti pada Gambar 4.10. Fungsi perangkat lunak (*software*) arduino-0022 dalam pembuatan alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) adalah untuk memprogram *setting* lama waktu terapi dan monitoring nilai tekanan.



Gambar 4.9 Pilihan *board* pada *software* arduino-0022



Gambar 4.10 Tombol *verify*, *save*, dan *upload* yang tersedia pada *software* arduino

Perangkat lunak (*software*) yang telah dibuat pada penelitian ini meliputi program lama waktu terapi dan monitoring nilai tekanan pada alat *Negative*

Pressure Wound Therapy (NPWT). Berikut adalah penjelasan program yang telah dibuat pada penelitian ini:

4.1.2.2 Program *Setting* Lama Waktu Terapi

Program *setting* lama waktu terapi diperlukan untuk mengatur *timer* agar sesuai dengan nilai *setting* awal. Adapun program keseluruhan tersaji pada Lampiran 6. Tampilan LCD dari *setting* lama waktu terapi hingga waktu terapi berakhir tersaji pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Tampilan LCD dari *setting* lama waktu terapi hingga waktu terapi berakhir

4.1.2.3 Program Pembacaan Nilai Tekanan

Program pembacaan nilai tekanan pada penelitian ini diperlukan karena keluaran dari sensor masih berupa nilai ADC dan belum berupa nilai tekanan yang sebenarnya. Adapun program pembacaan nilai tekanan adalah sebagai berikut:

```
const int analogInPin = A0; //pin input untuk MPX5050DP
float bacasensor;
float tekanan;
void Repeats(){
```

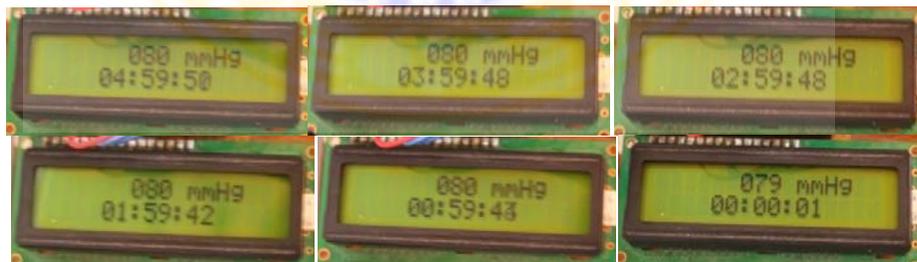
```

sensorValue = analogRead(analogInPin); //membaca nilai dari sensor
MPX5050DP
bacasensor=sensorValue; //nilai sensor dibuat float
tekanan= (((((sensorValue/1023.0)-0.04)/0.018))*7.5)-15.13; //transfer
function dari sensor MPX5050DP

```

Persamaan tekanan yang digunakan pada program *software* ini sesuai dengan persamaan 2.3. Arduino duemilanove yang digunakan pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler ATmega 328 yang memiliki 10 bit resolusi, yaitu 1024 nilai yang berbeda. Pada program ini nilai Vs yang diinputkan adalah 1023 karena angka yang digunakan adalah 1-1024.

Bedasarkan *transfer function* pada persamaan 2.3, nilai tekanan yang didapat memiliki satuan kPa. Nilai tersebut dirubah menjadi satuan mmHg dengan dikalikan 7,5. Pada program terlihat bahwa $\pm error$ yang digunakan adalah -15,13. Nilai tersebut diperoleh dari data yang tersaji pada Tabel 4.3. Tampilan tekanan yang terdapat pada LCD dari waktu lama terapi dimulai hingga berakhir tersaji pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Tampilan LCD tekanan alat dari waktu lama waktu terapi dimulai hingga berakhir

Tabel 4.3 Perbandingan nilai tekanan yang terukur pada *pressure gauge* dan MPX5050DP untuk menentukan $\pm error$ pada program *software*

No.	Pressure Gauge (mmHg)	MPX5050DP (mmHg)	$\pm error$
1	-10	-24	-14
2	-20	-35	-15
3	-30	-47	-17
4	-40	-54	-14
5	-50	-63	-13
6	-60	-76	-16
7	-70	-83	-13
8	-80	-95	-15
9	-90	-105	-15
10	-100	-118	-18
11	-110	-126	-16
12	-120	-135	-15
13	-130	-145	-15
14	-140	-155	-15
15	-150	-166	-16
		\bar{x}	-15.13333

4.1.3 Perangkat Pendukung



Vacuum Pump
ULVAC

Pressure
Gauge

Disposable
Canister

Ballvalve

Rangkaian Sensor
MPX5050DP

Gambar 4.13 Perangkat pendukung alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT)

Perangkat pendukung yang berhasil dibuat pada penelitian ini adalah penyambungan *ballvalve* dengan *vacuum pump* ULVAC dan sensor MPX5050DP

serta *disposable canister* (tabung pengumpul sekali pakai). Perangkat pendukung pada penelitian ini terdiri dari selang dengan diameter 3 mm, *ballvalve*, pipa T, dan tabung plastik. *Ballvalve* pada penelitian ini berfungsi untuk mengatur tekanan yang dikeluarkan oleh *vacuum pump* ULVAC agar sesuai dengan input yg diinginkan terapis. *Ballvalve* tersebut dihubungkan dengan pipa T. Pipa T tersebut kemudian dihubungkan dengan *port vacuum* sensor MPX5050DP dan *disposable canister*. *Disposable canister* (tabung pengumpul sekali pakai) pada penelitian ini berfungsi untuk menampung cairan ulkus diabetik. *Disposable canister* pada penelitian ini mampu menampung volume 400 cc. *Disposable canister* tersebut kemudian dihubungkan ke ulkus diabetik melalui selang. Perangkat pendukung alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) tersaji pada Gambar 4.13.

Ulkus dapat dihisap menggunakan alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) apabila keadaan ulkus tersebut vakum. Ulkus dapat dibuat vakum dengan cara luka ditutup menggunakan hepafix yang telah diberi isolasi dan selang disisipkan di tengah hepafix tersebut. Adapun ilustrasi tersebut tersaji pada Gambar 4.14.

Nomor 1 pada gambar tersebut dijelaskan mengenai desain *disposable canister* dan selang yang dipakai menuju ulkus diabetik. Nomor 2 dijelaskan mengenai pemasangan hepafix yang sebelumnya telah diberi isolasi. Nomor 3 dijelaskan mengenai pemasangan gabungan antara gambar nomor 1 dan 2 pada ulkus diabetik. Nomor 4 dijelaskan mengenai perekatan yang baik.



Gambar 4.14 Proses membuat ulkus menjadi vakum

4.1.4 Uji Alat dan Analisis Data

Pada penelitian ini diperoleh hasil uji kinerja sensor MPX5050DP, uji kalibrasi nilai tekanan, uji kalibrasi waktu, akurasi nilai tekanan, akurasi waktu, dan uji pada hewan coba.

4.1.4.1 Uji Kinerja Sensor MPX5050DP

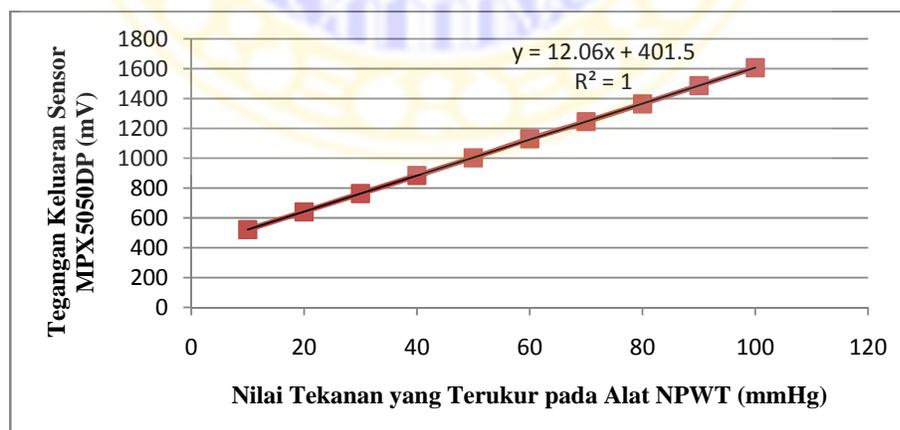
Untuk memastikan sensor MPX5050DP bekerja dengan baik dan tegangan yang dihasilkan oleh sensor stabil, maka diperlukan pengukuran kinerja sensor MPX5050DP. Hasil rata-rata tegangan keluaran (V_{out}) sensor dengan variasi tekanan tersaji pada Tabel 4.4. Pada penelitian ini untuk mengetahui tegangan

keluaran sensor digunakan multimeter dengan ketelitian 0,1 mV. Adapun tabel selengkapnya tersaji pada Lampiran 7.

Tabel 4.4 Kinerja sensor MPX5050DP

No.	Nilai Tekanan (mmHg)	Nilai Tegangan (mV)
1.	(-0±5)	(167±0,1)
2.	(-10±5)	(521,7±0,1)
3.	(-20±5)	(640,7±0,1)
4.	(-30±5)	(763,8±0,1)
5.	(-40±5)	(885,1±0,1)
6.	(-50±5)	(1003,4±0,1)
7.	(-60±5)	(1130,7±0,1)
8.	(-70±5)	(1245,5±0,1)
9.	(-80±5)	(1364,1±0,1)
10.	(-90±5)	(1486,5±0,1)
11.	(-100±5)	(1607,3±0,1)

Hubungan linearitas tegangan keluaran sensor MPX5050DP dengan nilai tekanan pada alat NPWT terdapat pada Gambar 4.15. Persamaan linearitas yang diperoleh adalah $y=12.06x + 401.5$ dengan nilai $R^2=1$. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar tegangan keluaran sensor MPX5050DP maka semakin besar pula nilai tekanan yang terukur pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT).



Gambar 4.15 Hubungan linearitas tegangan keluaran sensor MPX5050DP dengan nilai tekanan pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT)

4.1.4.2 Kalibrasi Tekanan pada Alat NPWT

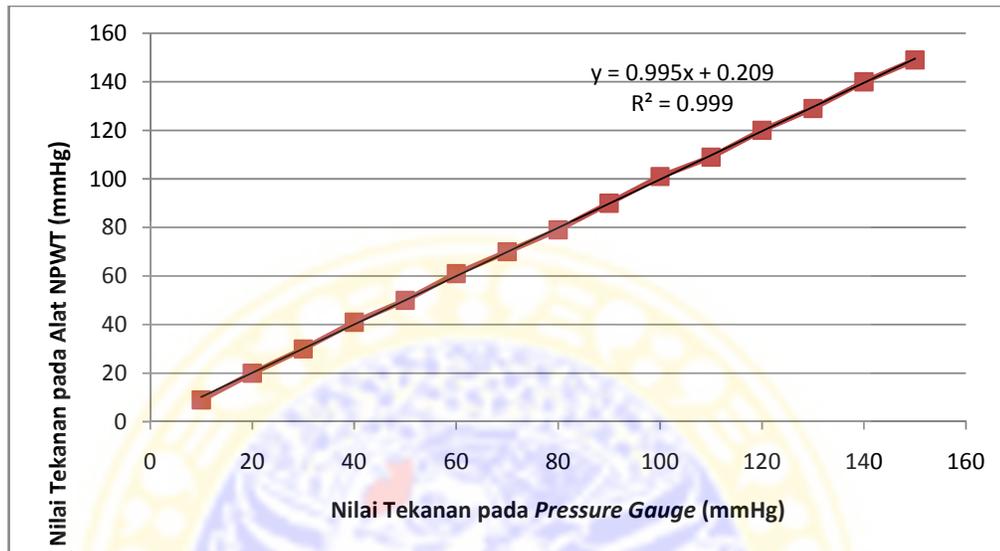
Kalibrasi tekanan dilakukan untuk mengetahui apakah nilai tekanan vakum yang dikeluarkan oleh alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) sama dengan nilai tekanan vakum pada alat ukur yang telah ada di pasaran, yaitu *pressure gauge*. Hasil kalibrasi tekanan pada alat NPWT tersaji pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil kalibrasi tekanan pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT)

No.	Nilai Tekanan pada Alat NPWT (mmHg)	Nilai Tekanan pada <i>Pressure Gauge</i> (mmHg)
1.	(-9±1)	(-10±5)
2.	(-20±1)	(-20±5)
3.	(-30±1)	(-30±5)
4.	(-41±1)	(-40±5)
5.	(-50±1)	(-50±5)
6..	(-61±1)	(-60±5)
7.	(-70±1)	(-70±5)
8.	(-79±1)	(-80±5)
9.	(-90±1)	(-90±5)
10.	(-101±1)	(-100±5)
11.	(-109±1)	(-110±5)
12.	(-120±1)	(-120±5)
13.	(-129±1)	(-130±5)
14.	(-140±1)	(-140±5)
15.	(-149±1)	(-150±5)

Berdasarkan data hasil uji pada Tabel 4.5, dihasilkan hubungan linearitas nilai tekanan pada *pressure gauge* (mmHg) dengan nilai tekanan pada alat NPWT (mmHg) yang tersaji pada Gambar 4.16. Persamaan linearitas yang diperoleh adalah $y = 0,995x + 0,209$. Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar tekanan yang ditunjukkan oleh alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT), nilai tekanan yang ditunjukkan oleh *pressure gauge* juga memiliki kenaikan yang

linear dengan nilai R^2 yang mendekati nilai 1, yaitu $R^2=0,999$. Pada penelitian ini, *pressure gauge* yang digunakan memiliki ketelitian 5 mmHg.



Gambar 4.16 Hubungan linearitas nilai tekanan pada *pressure gauge* dengan nilai tekanan pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT)

4.1.4.3 Kalibrasi Waktu pada Alat NPWT

Kalibrasi waktu dilakukan untuk mengetahui apakah lama waktu terapi dalam program sama dengan lama waktu terapi pada alat ukur yang telah ada di pasaran, yaitu *timer*. Hasil kalibrasi lama waktu terapi tersaji pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil kalibrasi waktu pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT)

No.	Input waktu pada alat NPWT (jam)	Waktu yang terukur pada <i>timer</i> (jam)
1	01:00	01:00
2	02:00	02:00
3	03:00	03:00
4	04:00	04:00
5	05:00	05:00
6	06:00	06:00
7	07:00	07:00
8	08:00	08:00
9	09:00	09:00
10	10:00	10:00

Berdasarkan data hasil uji pada Tabel 4.6, dihasilkan hubungan linearitas waktu yang terukur pada timer dengan input waktu pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) yang tersaji pada Gambar 4.17. Persamaan linearitas yang diperoleh adalah $y = x$. Pada grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar waktu yang ditunjukkan oleh alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT), waktu yang ditunjukkan oleh *timer* juga memiliki kenaikan yang linear dengan nilai $R^2=1$. Pada penelitian ini *timer* yang digunakan memiliki ketelitian 1 detik.



Gambar 4.17 Hubungan linearitas input waktu pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) dengan waktu yang terukur pada *timer*

4.1.4.4 Hasil Uji Tekanan

Pada penelitian ini tekanan negatif yang diizinkan untuk menghisap cairan ulkus diabetik berkisar antara -75 sampai -80 mmHg. Uji tekanan pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui kesesuaian alat ukur tekanan negatif yang beredar di pasaran, yaitu *pressure gauge* menyatakan tekanan -80 mmHg alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) juga menyatakan nilai tekanan negatif yang sama. Hasil uji tekanan beserta % *error* dan % akurasi alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) tersaji pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Uji Tekanan

No.	Nilai tekanan yang terukur pada pressure gauge (mmHg)	Tekanan yang terukur pada alat NPWT (mmHg)
1.	(-80 ± 5)	(-78 ± 1)
2.	(-80 ± 5)	(-81 ± 1)
3.	(-80 ± 5)	(-80 ± 1)
4.	(-80 ± 5)	(-80 ± 1)
5.	(-80 ± 5)	(-79 ± 1)
6.	(-80 ± 5)	(-80 ± 1)
7.	(-80 ± 5)	(-81 ± 1)
8.	(-80 ± 5)	(-79 ± 1)
9.	(-80 ± 5)	(-80 ± 1)
10.	(-80 ± 5)	(-78 ± 1)
\bar{x}	-80	-79,6

Berdasarkan data hasil uji tekanan pada Tabel 4.5 didapatkan ketelitian alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) adalah $(-79,6 \pm 1,07)$. % error alat adalah sebesar 0,5% dan keakuratan alat sebesar 99,5% dengan ketelitian alat ukur *pressure gauge* 5 mmHg. Perhitungan ketelitian, % error, dan keakuratan tekanan alat tersaji pada Lampiran 8.

4.1.4.5 Hasil Uji Lama Waktu Terapi

Menurut Susman (2007) lama waktu terapi menggunakan alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) adalah selama 2 hari. Pada penelitian ini lama waktu terapi yang digunakan adalah selama 5 jam. Hal ini dikarenakan *vacuum pump* yang digunakan mudah panas. Uji lama waktu terapi pada penelitian ini berfungsi untuk mengetahui kesesuaian alat ukur waktu yang beredar di pasaran, yaitu *timer* menyatakan waktu selama 5 jam alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) juga menyatakan waktu yang sama. Hasil uji lama waktu terapi alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) tersaji pada Tabel 4.8.

Berdasarkan data hasil uji lama waktu terapi pada Tabel 4.8 didapatkan ketelitian alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) adalah (5 ± 0) . % *error* alat adalah sebesar 0% dan keakuratan alat sebesar 100% dengan ketelitian alat ukur *timer* sebesar 1 detik. Perhitungan ketelitian, % *error*, dan keakuratan lama waktu terapi alat tersaji pada Lampiran 9.

Tabel 4.8 Hasil uji lama waktu terapi

No.	Waktu yang terukur pada <i>timer</i> (jam)	Waktu yang terukur pada alat NPWT (jam)
1.	05:00	05:00
2.	05:00	05:00
3.	05:00	05:00
4.	05:00	05:00
5.	05:00	05:00
6.	05:00	05:00
7.	05:00	05:00
8.	05:00	05:00
9.	05:00	05:00
10.	05:00	05:00
\bar{x}	05:00	05:00

4.1.4.6 Uji Keseluruhan Alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT)

Pada penelitian ini uji keseluruhan alat digunakan untuk mengetahui kinerja alat ketika telah disatukan untuk *setting* lama waktu terapi dan monitoring tekanan. Pada Tabel 4.9 tersaji data tekanan dan waktu ketika terapi telah dilakukan. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui bahwa nilai tekanan pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) dengan lama waktu terapi selama 5 jam adalah stabil. Nilai rata-rata tekanan pada uji coba keseluruhan alat adalah sebesar $(79,83 \pm 1)$ mmHg.

Tabel 4.9 Hasil uji keseluruhan alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT)

No.	Variabel alat <i>Negative Pressure Wound Therapy</i> (NPWT) yang ditunjukkan pada LCD	
	Waktu	Tekanan (mmHg)
1.	04:59:50	(-80±1)
2.	03:59:48	(-80±1)
3.	02:59:48	(-80±1)
4.	01:59:42	(-80±1)
5.	00:59:43	(-80±1)
6.	00:00:01	(-79±1)
	\bar{x}	(79,83±1)

4.1.4.7 Uji pada Hewan Coba

Uji pada hewan coba digunakan untuk mengetahui kinerja alat ketika difungsikan untuk menghisap cairan ulkus diabetik. Berdasarkan hasil penyuntikan alloxan, gula darah kelinci sebelum diberi cairan alloxan monohydrate adalah 117 mg/dl dan 8 hari setelah pemberian cairan gula darah kelinci adalah 321 mg/dl. Nilai ini dapat diartikan bahwa kelinci telah mengidap diabetes melitus. Preparasi hewan coba secara rinci disajikan pada Lampiran 11.

Luka kemudian dibuat pada punggung kelinci dan dibiarkan selama 5 hari untuk membuat luka menjadi ulkus diabetik. Selanjutnya luka ulkus kelinci dihisap menggunakan alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT). Hasil yang didapatkan adalah alat dapat menghisap cairan ulkus diabetik kelinci dengan tekanan -80 mmHg selama 5 jam dengan hasil luka kelinci dapat menjadi *moist* (lembab) dan tidak basah seperti sebelumnya, namun volume cairan pada penelitian ini belum dapat dilaporkan karena volume cairan ulkus diabetik yang dihasilkan sedikit.

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) berbasis mikrokontroler untuk mempercepat penyembuhan ulkus diabetik telah berhasil dibangun. Hal ini dapat dilihat dari subbab 4.1.1 bahwa perangkat keras (*hardware*) dari alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) terdiri dari arduino duemilanove, rangkaian catu daya, rangkaian sensor MPX5050DP, rangkaian *relay*, rangkaian *push button*, dan rangkaian LCD. Pada subbab 4.1.2 terlihat bahwa perangkat lunak (*software*) yang terdiri dari program *setting* lama waktu terapi dan pembacaan nilai tekanan telah berhasil untuk mendukung rangkaian *hardware*. Pada subbab 4.1.3 juga menunjukkan bahwa perangkat pendukung yang terdiri dari *disposable canister* (tabung pengumpul sekali pakai) dan pengatur tekanan telah berhasil dibangun. Gambar keseluruhan alat disajikan pada Lampiran 10.

Pengatur tekanan pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) pada penelitian ini masih berupa *ballvalve* manual. Berdasar pada terapis yang tidak mau repot, diharapkan dalam pengembangan berikutnya *ballvalve* manual dapat diganti dengan *proportional valve*, sehingga nilai tekanan dapat diinputkan melalui *push button* ataupun *keypad*.

Berdasarkan subbab 4.1.1.3 pada rangkaian sensor digunakan kapasitor 22 pF. Rangkaian yang digunakan pada penelitian ini tidak sesuai dengan *datasheet* sensor MPX5050DP pada Lampiran 1. Diharapkan pada penelitian berikutnya rangkaian sensor MPX5050DP dapat mengikuti rangkaian *decoupling* yang direkomendasikan pada *datasheet*.

Ketelitian variabel tekanan alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) pada penelitian ini memiliki skala terkecil 1 mmHg. Diharapkan pada penelitian selanjutnya skala terkecil tersebut dapat dipertimbangkan ulang, karena pada penelitian ini belum dilakukan perhitungan skala terkecil dari sensor MPX5050DP.

Berdasarkan subbab 4.1.3, desain *disposable canister* pada penelitian ini memiliki ukuran 400 cc. Diharapkan pada penelitian selanjutnya desain *disposable canister* dapat lebih kecil, karena mempertimbangkan volume cairan ulkus diabetik yang sedikit.

Kinerja alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) yang telah dibangun pada penelitian ini adalah baik. Hal ini dapat ditunjukkan dengan hasil uji tekanan pada alat NPWT yang menunjukkan ketelitian ($79,6 \pm 1,07$) mmHg dengan tingkat akurasi sebesar 99,5%. Hasil uji lama waktu terapi juga menunjukkan hasil baik dengan hasil uji lama waktu terapi (5 ± 0) jam dengan tingkat akurasi sebesar 100%. Berdasarkan subbab 4.1.4.6, dapat diketahui bahwa nilai tekanan pada alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) dengan lama waktu terapi selama 5 jam adalah stabil. Nilai rata-rata tekanan pada uji coba keseluruhan alat adalah sebesar ($79,83 \pm 1$) mmHg.

Nilai tekanan yang diizinkan untuk hewan kelinci yang menderita luka kronis seperti ulkus diabetik menurut Usopov dkk (1987) adalah -75 sampai -80. Pada Gambar 4.11 alat telah menunjukkan dapat bekerja dalam *range* tersebut selama 5 jam. Lama waktu terapi yang diizinkan untuk hewan kelinci yang menderita luka kronis seperti ulkus diabetik menurut Usopov dkk (1987) adalah 2

hari. Namun alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) pada penelitian ini dapat menghisap konstan dalam jangka waktu 5 jam. Fakta ini masih jauh dari literatur, sehingga diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat didesain *vacuum pump* yang dapat menghisap cairan ulkus diabetik terus-menerus selama 2 hari.

Pada Lampiran 11 terlihat bahwa alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) yang sudah dibangun dapat diaplikasikan untuk menghisap cairan ulkus diabetik. Namun kinerja alat secara keseluruhan dapat mempercepat penyembuhan ulkus diabetik belum dilakukan karena pada penelitian ini penyusun fokus pada pembuata alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT), sehingga dalam pengembangan berikutnya diharapkan adanya variasi perlakuan pada uji hewan coba untuk aplikasi klinis.

Berdasarkan subbab 4.1.4.7, volume cairan ulkus diabetik belum dapat terukur karena cairan ulkus yang dihasilkan sedikit. Diharapkan pada penelitian selanjutnya volume cairan ulkus diabetik dapat diukur, sehingga efektivitas terapi menggunakan alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) dapat diketahui.

Alat *Negative Pressure Wound Therapy* (NPWT) yang dibuat pada penelitian ini masih jauh dari literatur, namun alat tersebut memiliki keunggulan harga yang lebih ekonomis berdasarkan bahan habis pakai pada Lampiran 12.