

## Pengaruh waktu ton SPWM terhadap tegangan *inverter* sinusoida

Mohammad Luqman<sup>1</sup>, Muhamad Rifa'i<sup>2</sup>, Donny Radianto<sup>3</sup>

e-mail: <sup>1</sup>[mohluqmanpolinema@gmail.com](mailto:mohluqmanpolinema@gmail.com), <sup>2</sup>[muh.rifai@polinema.ac.id](mailto:muh.rifai@polinema.ac.id), <sup>3</sup>[donny.radianto@polinema.ac.id](mailto:donny.radianto@polinema.ac.id)

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

### Informasi Artikel

#### *Riwayat Artikel*

Diterima 18 Januari 2024

Direvisi 19 Juni 2024

Diterbitkan 21 Agustus 2024

### Kata kunci:

Arduino Uno  
*Inverter* sinusoida  
Siklus kerja PWM  
SPWM

### Keywords:

Arduino Uno  
Sinusoids inverter  
SPWM  
PWM cycle

### ABSTRAK

Kendaraan listrik selain membutuhkan daya berbentuk sinusoida dengan daya besar dan frekuensi variable, juga membutuhkan pengaturan tegangan atau tegangan yang stabil. Alat untuk mengubah daya dc menjadi daya ac disebut dengan *inverter*. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian yang terdahulu, Pada penelitian ini dicoba untuk mencari hubungan antara panjang waktu t-on pada sinyal SPWM dengan besaran tegangan sinusoida yang dihasilkan, yang akan digunakan untuk membuat rangkaian kontrol agar tegangan relatif stabil pada nilai tertentu pada rentang daya yang lebih lebar. Cara yang dilakukan adalah dengan menambah lebar pulsa pada sinyal SPWM, artinya memperpanjang waktu ON pulsa PWM (*t-on*) sebagai fungsi luaran tegangan *inverter*. Jika tegangan *inverter* menurun maka sistem akan maenambah waktu *t-on* sebagai fungsi sudut sinyal sinusoida. Penambahan besaran sudut adalah sebesar 0° sampai dengan 10° untuk rentang tegangan 220V sampai 190V. Hasil yang diperoleh adalah pengaturan tegangan *inverter* akan akan meningkat sebesar 6% dibandingkan jika tanpa menggunakan sistem ini.

### ABSTRACT

Electric vehicles require stable voltage or voltage regulation, as apart from requiring sinusoidal power with large power and variable frequency. A device for converting DC power into AC power is called an inverter. This research is a continuation of previous research. In this research, an attempt is made to find a relationship between the length of the t-on time on the SPWM signal and the magnitude of the resulting sinusoidal voltage, which will be used to create a control circuit so that the voltage is relatively stable at a certain value in the specified power range wider. The method used is to increase the pulse width of the SPWM signal, which means extending the ON time of the PWM pulse (*t-on*) as a function of the inverter voltage output. If the inverter voltage decreases, the system will increase the t-on time as a function of the sinusoidal signal angle. The additional angle magnitude is 0° to 10° for the voltage range 220V to 190V. The results obtained are that the inverter voltage setting will increase by 6% compared to without using this system.

### Penulis Korespondensi:

Mohammad Luqman,  
Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang,  
Jl. Sukarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.  
Email: [mohluqmanpolinema@gmail.com](mailto:mohluqmanpolinema@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

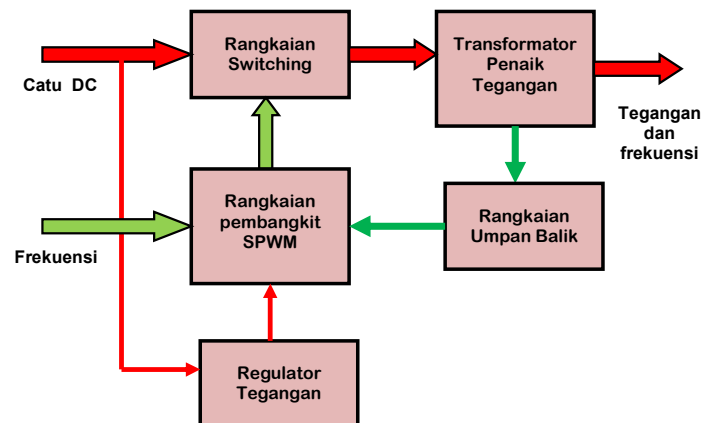
Kemajuan teknologi transportasi dan kebutuhan energi yang ramah lingkungan membawa pada semakin berkembangnya kendaraan listrik baik berupa sepeda maupun mobil. Begitu juga industri yang semakin berkembang dengan teknologi otomasi mengakibatkan kebutuhan penggerak dengan kecepatan variabel/ bisa diatur semakin meningkat. Pada kendaraan listrik dibutuhkan daya listrik dengan bentuk gelombang sinusoida dan frekuensi yang bisa diatur mulai dari 0 Hz sampai dengan ratusan Hz, perkembangan terbaru dari mesin listrik untuk penggerak mobil listrik sampai dengan 455 HP.

Saat ini media untuk menyimpan daya pada kendaraan listrik berupa baterai yang menyimpan dan memberikan daya dalam bentuk gelombang searah/ dc, sedangkan mesin listrik pada kendaraan listrik berupa motor ac. Untuk itu diperlukan alat untuk mengubah daya dc menjadi daya ac yang disebut dengan *inverter*. Secara umum luaran *inverter* berbentuk tegangan ac dengan 3 macam bentuk gelombang, yaitu gelombang segiempat, gelombang modified sinusoida yaitu tegangan segiempat yang dimodifikasi mendekati gelombang sinus, dan berbentuk sinusoida murni. Daya listrik untuk penggerak motor listrik mutlak dibutuhkan tegangan yang berbentuk sinusoida murni. Dan jika dibutuhkan kecepatan yang variabel maka luaran gelombang sinusoida tersebut harus mempunyai pengaturan frekuensi yang variabel juga.

Inti dari *inverter* dengan sinyal sinusoida terletak pada kontrol switching, dimana penentuan bentuk gelombang dan frekuensi ditentukan pada alat kontrol ini, salah satunya adalah gelombang SPWM. Dipasaran telah tersedia pembangkit SPWM yaitu seri EGS-002, yang beroperasi pada frekuensi tetap 50 Hz atau 60 Hz, sehingga tidak bisa di gunakan untuk membangkitkan daya listrik dengan frekuensi daya yang variabel. Untuk itu maka di coba melaksanakan penelitian ini, dimana pada penelitian terdahulu telah dibuat pembangkit SPWM berbasis arduino, lalu dilanjutkan dengan pembangkit SPWM dengan frekuensi variabel. Pada penelitian ini dicoba dicari hubungan antara lebar pulsa SPWM dengan nilai tegangan luaran *inverter*.

## 2. METODE PENELITIAN

Secara umum fokus penelitian ini terletak pada pengaturan sinyal SPWM dan pengaruhnya pada tegangan luaran *inverter*. Dimana komponen utama pembangkit sinyal adalah mikrokontroler arduino. Tegangan luaran ini harus tetap berbentuk sinusoida, apapun model pengaturan pada sinyal SPWM yang dilakukan. Tujuannya adalah untuk mendapatkan hubungan antara parameter sinyal SPWM dengan tegangan luaran *inverter*, yang nantinya akan dibuat sebagai rumus untuk menjaga tegangan *inverter* konstan pada kondisi tertentu. Regulator tegangan akan berfungsi untuk memberikan catu daya pada sistem arduino yang *inputnya* di ambilkan dari masukan tegangan dc dan *outputnya* akan disesuaikan dengan kebutuhan sistem arduino. Rangkaian umpan balik digunakan untuk memberikan stabilitas pada tegangan luaran dan melindungi sistem jika terjadi *over-voltage* maupun *under-voltage* pada tegangan luaran sistem. Rangkaian yang lain adalah penunjang pada sistem ini agar luaran dan kinerja sistem kendali arduino dapat dimonitor atau diamati dengan baik.

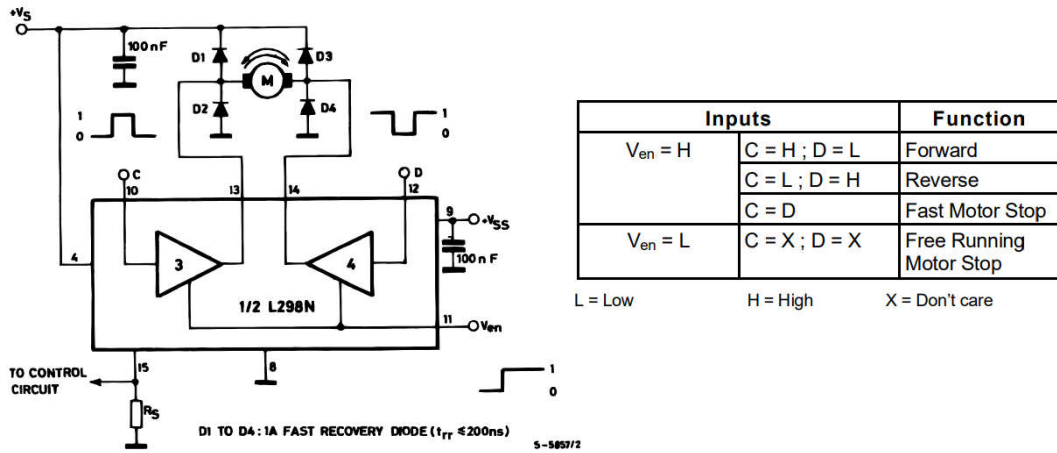


Gambar 1. Blok diagram rencana penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 IC-L298 sebagai *driver* SPWM *inverter*

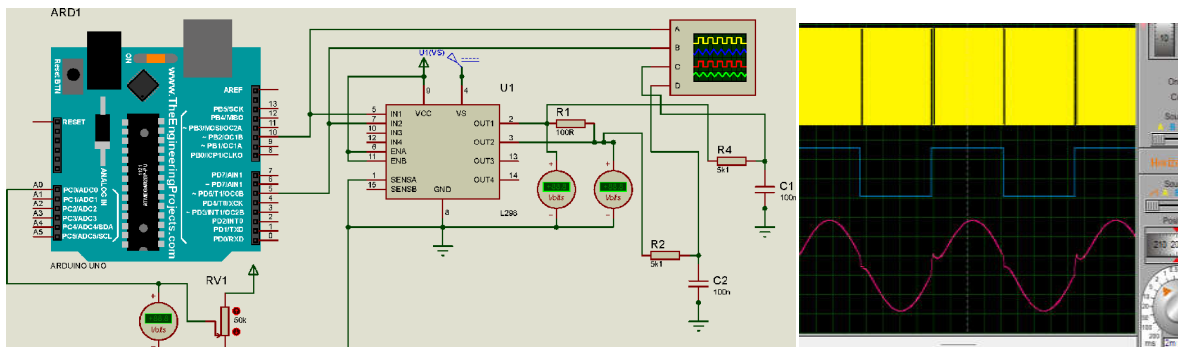
Pada umumnya *inverter* menggunakan H-bridge *driver* untuk mengkonversi sinyal dari rangkaian pengendali menjadi sebuah sinyal dengan daya besar, dan biasanya menggunakan MOSFET yang disain dan perhitungan yang relatif cukup rumit, untuk itu dalam penelitian ini akan digunakan sebuah modul *driver* motor L298. IC dan modul L298 adalah dual H-bridge *driver*, sedangkan kebutuhan *driver inverter* cukup satu, sehingga hanya separoh bagian dari L298 yang akan dipakai sebagai *driver* SPWM. Rangkaian penggunaan serta tabel logika L298 terlihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. L298 sebagai pengendali motor dc.

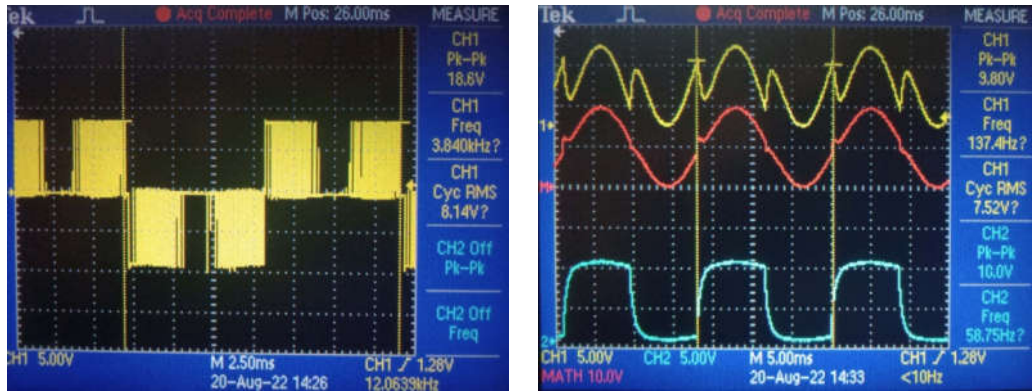
Dari rangkaian tersebut kontrol dilakukan pada *input* C dan D dan harus komplementer, karena jika sama baik dalam kondisi H ataupun L maka motor akan berhenti atau *output* akan berharga 0. Jika dilihat dari fungsi yang dijalankan maka motor akan berjalan pada kondisi maju (*forward*) atau balik (*reverse*). Dimana dalam kedua kondisi tersebut peralihan dari *forward* ke *reverse* atau sebaliknya akan terjadi dalam interval waktu yang relatif lama (frekuensi rendah), sedangkan untuk keperluan *inverter* peralihan dari *forward* ke *reverse* dan sebaliknya berlangsung dalam frekuensi tinggi. Dan dalam aplikasi umum motor akan mendapatkan tegangan DC dengan frekuensi Nol, sedangkan untuk *inverter*, daya yang mengalir ke beban berbentuk sinyal SPWM dengan frekuensi sekitar 7812 Hz. Berdasarkan lembar data dari IC L298 keluaran ST Microelectronics, komponen ini mempunyai frekuensi komutasi  $f_c$  ( $V_i$ ) sebesar 25 kHz pada arus beban  $I_L = 2A$ , sehingga dianggap mampu untuk menangani perubahan luaran pada frekuensi 7812 Hz.

Cara yang dilakukan adalah memberikan pulsa kontrol pada pin C dan D, dimana D akan diberi *input* pulsa dasar 50 Hz dan C akan diberi *input* SPWM. Sehingga diharapkan akan terdapat sinyal SPWM bolak-balik pada beban. Rangkaian percobaan dalam format simulasi terlihat pada Gambar 3 dan dapat dinyatakan berhasil.



Gambar 3. Rangkaian simulasi percobaan *driver* L298 dan bentuk sinyal SPWM (kuning), frekuensi dasar (biru), *output* sinusoida (merah)

Selanjutnya, rangkaian tersebut direalisasikan pada komponen nyata dengan tegangan catu pada L289 sebesar 10Vdc, maka hasilnya seperti terlihat pada gambar 4a. Jika pada beban diberi beban induktif maka hasilnya adalah seperti terlihat pada gambar 4b. dimana kanal-A adalah sinyal PWM, kanal –B adalah sinyal dasar dan kanal-C adalah hasil sinyal sinusoida. Dari hasil tersebut terlihat bahwa *driver* L298 dapat digunakan sebagai *driver* untuk aplikasi *inverter*.



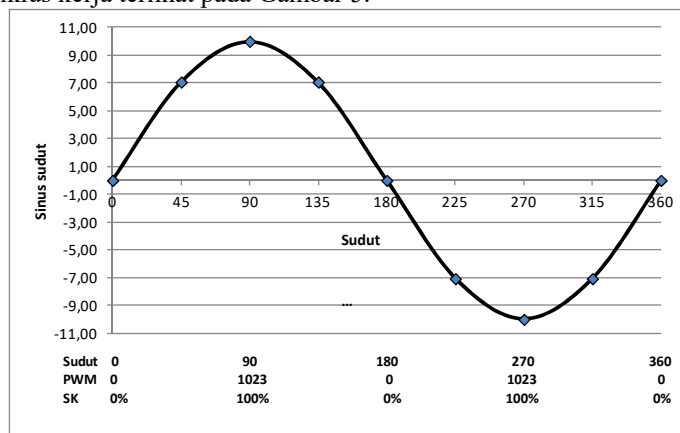
Gambar 4. Output SPWM dan Output Sinusoida pada beban

### 3.2 Model Transformator

Untuk kebutuhan simulasi menggunakan Proteus maka diperlukan transformator dan harus diketahui nilai transformasinya, untuk itu dicoba pakai model transformator sederhana. Sehingga jika induktansi primer sebesar 1H (biasanya untuk transformator dengan kapasitas 10 atau 20 kW), maka untuk tegangan *input* 220Vac dan *output* 12Vac, maka diperlukan induktansi sekunder sebesar  $L2 = 1/(220/12)^2$ , diperoleh hasil sebesar 2,98 mH yang hasilnya diisikan pada parameter transformator pada Proteus.

### 3.3 Desain Program untuk pengaturan tegangan

Dalam perancangan ini diharapkan bahwa *inverter* akan memberikan respon jika tegangan *output* pada transformator turun maka tegangan *input* pada transformator akan dinaikkan. Akan tetapi karena tegangan *input* pada transformator berupa sinyal SPWM dimana nilai tegangannya relatif tetap sesuai dengan catu yang diberikan pada *driver* L298. Untuk itu maka perubahan tegangan hanya mungkin diberikan dengan murubah nilai siklus kerja (*duty-cycle*) pada sinyal PWM. Perubahan nilai siklus kerja tidak boleh sembarangan karena akan mempengaruhi bentuk sinyal sinusoida yang dihasilkan. Hubungan antara sinyal sinusoida dengan sudut serta nilai PWM dan siklus kerja terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Gelombang sinusoida dalam hubungannya dengan besaran sudut, nilai sin sudut, nilai PWM dan besaran siklus kerja

Untuk itu nilai siklus kerjanya akan dinaikkan pada sudut tertentu sesuai dengan tingkat penurunan tegangan *output*. Penurunan tegangan *output* diterima pada port umpan balik sebagai tegangan 0 s/d 5V, dimana tegangan 0V adalah tingkat tegangan *output* terendah yang diijinkan dan 5V adalah tegangan *output inverter* nominal yang didesain yaitu sebesar 220Vac.

Sebagai langkah awal dianggap bahwa penambahan sudut adalah sebesar  $10^0$  untuk nilai tegangan terendah, sehingga perlu dikonversikan penambahan sudut  $0^0$  s/d  $10^0$  untuk nilai umpan balik 5V s/d 0V. Karena program yang dirancang menggunakan pendekatan sudut sinusoida, dimana nilai dari  $\text{Sin } 0^0 = 0$ ;  $\text{Sin } 90^0 = 1$  dan  $\text{Sin } 180^0 = 0$ , dan PWM akan bernilai 0 s/d 1023 untuk nilai siklus kerja 0% s/d 100%. Untuk itu maka nilai PWM akan berharga 0 pada saat sudut 0, sudut 180 dan sudut 360 dan akan bernilai maksimum pada sudut 90 dan sudut 270.

Untuk memperbaiki nilai tegangan luaran, maka nilai Siklus Kerja (*duty cycle*) pada sinyal SPWM harus dinaikkan. Pada gelombang sinusoida dalam rentang sudut 0 s/d 180 ada 2 mekanisme SPWM, yaitu  $0^0 - 90^0$  dimana PWM akan meningkat sampai maksimum dan  $90^0 - 180^0$  dimana PWM akan menurun sampai

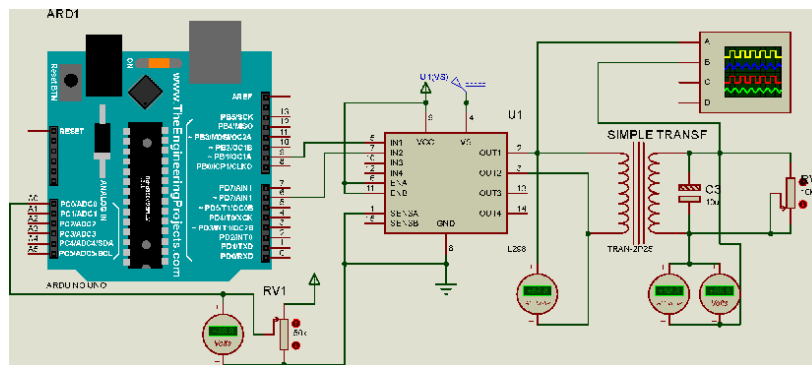
minimum. Dari gambaran tersebut terlihat bahwa nilai PWM akan semakin besar pada saat menuju  $90^{\circ}$ , dan pada rentang  $90^{\circ} - 180^{\circ}$  maka pengurangan nilai PWM. Untuk itu satu siklus penuh gelombang sinusoida akan dibagi menjadi 4 bagian, yaitu:

1. Rentang sudut  $0^{\circ} - 90^{\circ}$ , merupakan penjumlahan sudut.
2. Rentang sudut  $90^{\circ} - 180^{\circ}$ , merupakan pengurangan sudut.
3. Rentang sudut  $180^{\circ} - 270^{\circ}$ , merupakan penjumlahan sudut.
4. Rentang sudut  $270^{\circ} - 360^{\circ}$ , merupakan pengurangan sudut.

Misalkan penambahan nilai PWM diekivalenkan pada sudut antara  $0^{\circ} - 10^{\circ}$  untuk nilai umpan balik  $0V - 5V$ , maka pada saat nilai umpan balik maksimum, maka nilai sudut untuk perhitungan SPWM akan ditambah atau dikurangi  $10^{\circ}$ , agar nilai SPWM akan semakin besar, terutama saat mendekati puncak  $90^{\circ}$  atau lembah  $270^{\circ}$ .

**3.4 Inverter dengan rangkaian umpan balik.**

Sesudah sketch yang ditulis ditanamkan pada arduino dan diterapkan pada rangkaian *inverter* seperti terlihat pada Gambar 6. Jika pada rangkaian tersebut nilai tegangan umpan balik diindera melalui port *input* A0, maka akan diperoleh tegangan luaran seperti terlihat pada Tabel 1.



Gambar 6. Rangkaian simulasi pengaturan tegangan.

Tabel 1. Pengaruh tegangan umpan balik terhadap nilai tegangan luaran

Tegangan FB (Vdc)	Input Trafo (Vac)	Output trafo (Vac)	Transformasi
0	5,03	91	18,09
1	5,10	93	18,23
2	5,21	95	18,23
3	5,32	97	18,23
4	5,45	99	18,17
4,99	5,53	101	18,26

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan adanya pengaruh nilai umpan balik terhadap nilai keluaran tegangan. Dimana kenaikan nilai umpan balik akan meningkatkan nilai tegangan luaran transformator dan nilai transformasi pada transformator relatif tetap.

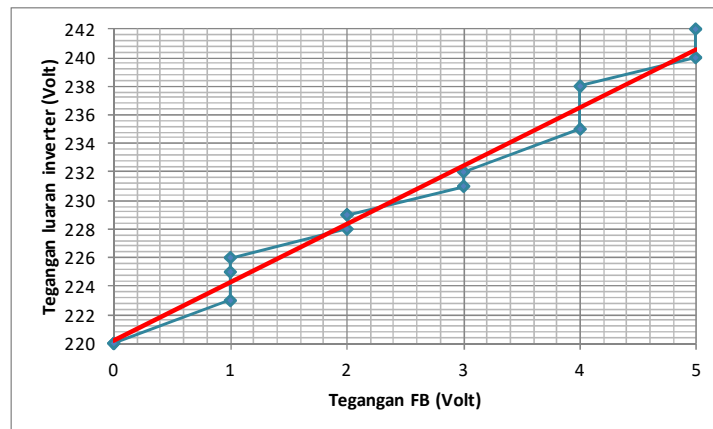
**3.5 Pemilihan Tegangan Catu DC**

Pada perencanaan diharapkan dengan *input* 12Vdc akan menghasilkan *output* tegangan ac 50Hz 220 Vac. Tetapi dari simulasi jika catu daya 12 Vdc diumpankan pada *driver* L298 akan menghasilkan gelombang SPWM dengan nilai Vac pada sisi *input* transformator sebesar 5,03 V dan menghasilkan sinyal 50 Hz sebesar 91 Vac seperti terlihat pada tabel 1. Sedangkan jika diberi tegangan catu 24Vdc, diperoleh tegangan SPWM sebesar 10,1 Vac dan tegangan *output* sebesar 184 Vac. Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa hubungan antara tegangan catu dc dengan *output* SPWM adalah:  $24/10,1 = 2,38 : 1$ ; sedangkan hubungan primer sekunder transformator adalah  $10,1 : 184 = 1 : 18,22$ . Sehingga jika di inginkan *output* trafo sebesar 220Vac, maka *input* sekunder haruslah bernilai  $220/18,23 = 12,06$  Vac yang ekivalen dengan sumber dc sebesar  $12,06 * 2,38 = 28,7Vdc$ .

Dengan meneruskan simulasi dengan mengubah-ubah nilai tegangan umpan balik pada port A0 arduino, maka hasilnya terlihat pada tabel 2. Hasil dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 7. dimana jika nilai umpan balik meningkat maka tegangan luaranpun juga akan meningkat secara linear.

Tabel 2. Pengaruh umpan balik terhadap Vout pada catu daya 28,7 Vdc.

No	Tegangan FB (Vdc)	Input Trafo (Vac)	Output trafo (Vac)	Transformasi
1	0	12,0	220	18,33
2	0	12,0	220	18,33
3	1	12,3	223	18,13
4	1	12,3	225	18,29
5	1	12,2	226	18,52
6	2	12,5	228	18,2
7	2	12,5	229	18,32
8	2	12,5	229	18,32
9	3	12,6	231	18,22
10	3	12,7	232	18,27
11	4	12,8	235	18,36
12	4	13,0	238	18,31
13	4,99	13,1	240	18,32
14	4,99	13,2	242	18,33
Transformasi rata-rata				18,32



Gambar 7. Hubungan antara tegangan umpan balik dengan tegangan luaran inverter.

### 3.6 Pengaturan nilai Tegangan Umpan Balik

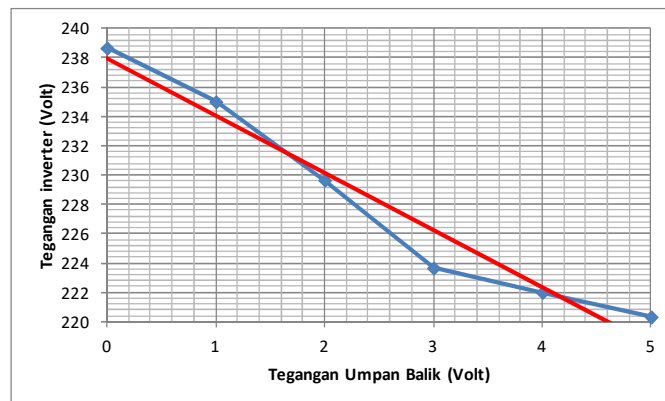
Pada Gambar 8 terlihat hubungan antara tegangan umpan balik dengan tegangan inverter, dimana semakin besar tegangan umpan balik maka semakin besar tegangan luaran inverter. Hal ini adalah terbalik pada aplikasi nantinya, dimana semakin kecil luaran tegangan inverter, maka output perbaikannya harusnya semakin besar. Atau dengan kata lain, jika tegangan luaran inverter semakin kecil, maka siklus kerja dari sinyal SPWM harus semakin dibesarkan dengan arti tegangan pada sistem inverter semakin dibesarkan.

Jadi untuk menjaga agar tegangan luaran relatif konstan, maka jika luaran turun maka siklus kerja sinyal SPWM mesti dinaikkan, untuk itu program perangkat lunak terutama pada sisi umpan balik harus dimodifikasi, dimana umpan balik kecil tegangan output harus naik dan saat umpan balik besar maka tegangan luaran harus mengecil, program ini merupakan kebalikan dari program yang lama, yaitu dengan cara jika nilai FB=0, maka tidak ada penambahan sudut, tetapi jika FB= 5V, maka penambahan sudut akan maksimum. Nilai FB= 5V akan dibaca sebagai 1023 oleh arduino yang merupakan nilai maksimum input analog yang akan ekuivalen dengan tegangan maksimum inverter sebesar 220 Vac. Untuk itu program akan dibalik dengan memberikan penambahan sudut SPWM 0° pada saat output 220 Vac dan akan memberikan tambahan sudut maksimum pada saat output inverter minimum, yaitu dengan cara menambahkan syarat perhitungan sudut = 1023 – nilai FB.

Hasil simulasi selengkapnya dengan melihat nilai dari hasil capture simulasi proteus terlihat pada Tabel 3. dan jika disajikan melalui grafik terlihat pada Gambar 8. Dari gambar tersebut terlihat hubungan antara nilai tegangan umpan balik (FB) dengan nilai tegangan luaran *inverter*, dimana semakin kecil nilai FB *output inverter* akan semakin besar, yang artinya jika terjadi penurunan tegangan *output inverter* akan berusaha mengimbangi dengan menaikkan tegangan *input* dengan cara memperbesar nilai siklus kerja sinyal SPWM.

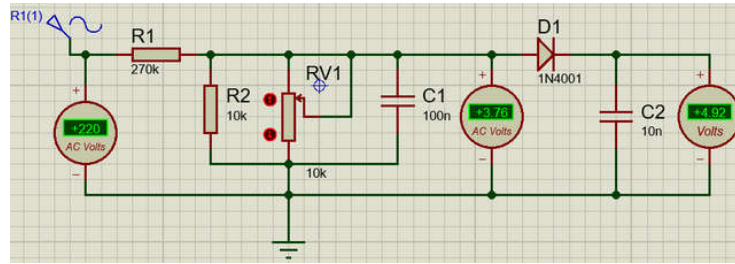
Tabel 3. Hasil simulasi dengan nilai FB negatif

No	Tegangan FB (Vdc)	Input Trafo (Vac)	Output trafo (Vac)	Transformasi
1	0	13,1	20	18,32
2	0	13,0	239	18,38
3	1	12,9	237	18,37
4	1	12,7	233	18,35
5	1	12,9	237	18,37
6	2	12,8	235	18,36
7	2	12,6	230	18,25
8	2	12,7	233	18,35
9	3	12,3	226	18,37
10	3	12,3	225	18,29
11	4	12,0	220	18,33
12	4	12,2	224	18,3
13	4,99	12,0	219	18,25
14	4,99	12,1	222	18,35
15	4,99	12,0	220	18,33
Transformasi rata-rata				18,34

Gambar 8. Hubungan antara tegangan umpan balik dengan tegangan luaran *inverter*.

### 3.7 Rangkaian Umpan Balik

Modul SPWM EGS-002 sudah dilengkapi dengan rangkaian umpan balik sebagai pengaman jika tegangan *inverter* jatuh dibawah nilai minimum yang diijinkan, maka *inverter* akan OFF. Hal ini berbeda dengan rencana penelitian yang dibuat, dimana rangkaian umpan balik ini akan memberikan informasi ke sistem arduino, apabila tegangan *output* semakin rendah maka kontroller akan menaikkan nilai siklus kerja sinyal SPWM, sehingga diharapkan tegangan luaran akan naik sehingga tegangan *output* akan relatif semakin konstan. Karena tegangan *input* yang bisa diterima oleh arduino adalah sebesar 5V, maka rangkaian umpan balik ini dirancang akan memberikan nilai sebesar 5Vdc pada saat tegangan *output inverter* sebesar 220 Vac. Nilai 220 Vac ini merupakan nilai efektif (rms) pada sinyal bolak-balik, sedangkan pada tegangan dc nilai yang tertera adalah nilai puncaknya. rangkaian umpan balik yang lengkap terlihat pada Gambar 9.

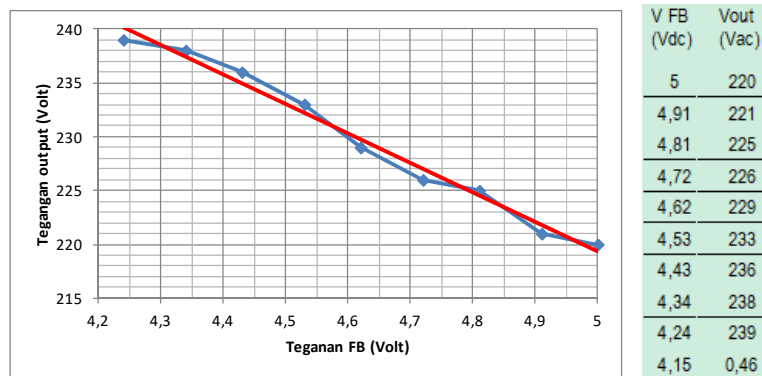


Gambar 9. Rangkaian umpan balik

### 3.8 Tegangan maksimum dan minimum inverter

Pada *inverter* diharapkan ada pembatasan tegangan minimum *output* yang bisa diterima, karena jika tegangan tersebut terus turun sampai nilainya kecil, hal ini akan dianggap membahayakan alat-alat/ instrumen yang terhubung dan mengambil daya dari *inverter* tersebut, atau paling tidak akan terjadi pemborosan daya padahal alat yang terhubung dengan *inverter* tidak dapat berfungsi, karena tegangannya terlalu rendah. Untuk itu tegangan minimum perlu dibatasi sampai mayoritas peralatan masih bisa berfungsi, ambil saja sebesar 190 Vac. Sehingga sistem *inverter* akan beroperasi pada tegangan 190 Vac s/d 220 Vac. Dibawah 190 Vac sistem akan dibuat dalam kondisi OFF.

Pada rangkaian ini jika nilai FB berharga 5V, maka *output* yang terjadi adalah 219 Vac, dan akan menjadi 240Vac pada saat nilai FB= 0V. Bentuk tegangan luaran sudah berbentuk sinusoida murni dengan hasil seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hubungan antara tegangan FB dengan tegangan *output inverter*.

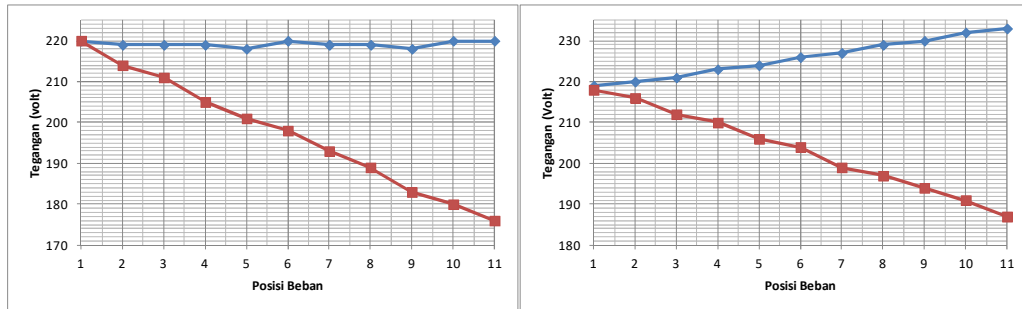
### 3.9 Program Sinyal Burst

Jika rangkaian *inverter* disambungkan dengan rangkain umpan balik (Feed-back) dan diambungkan ke *input* analog arduino, sehingga rangkaian menjadi sistem tertutup (closed Loop), ternyata sistem tidak bekerja. Hal ini ternyata disebabkan pada kondisi awal tegangan *output inverter* = 0, sehingga nilai FB jatuh dibawah 4,21V, akibatnya *inverter* akan selalu dalam kondisi shut-down. Untuk itu maka pada kondisi awal mestinya nilai FB tidak akan diperhatikan dan *inverter* bekerja pada tegangan nominal 220Vac, sesudah beberapa saat dan sistem stabil, maka nilai FB mulai diterapkan. Sebagai langkah awal maka *inverter* akan bekerja selama beberapa siklus sampai *output* stabil, anggap saja sampai 50 siklus atau selama 1 detik untuk frekuensi 50Hz. Untuk itu coba dikembangkan rangkaian sinyal burst, artinya sistem akan membangkitkan sinyal sinus hanya untuk beberapa siklus yang tertentu sesudah itu *output* akan nol (diberi jeda), lalu mulai dari awal lagi.

### 3.10 Inverter Close Loop

Jika semua sistem sudah disiapkan dan rangkaian *inverter* lengkap, maka *inverter* akan bekerja sempurna, pada kondisi awal sistem akan dioperasikan dalam konfigurasi “open-loop”, artinya sistem umpan balik tidak digunakan. Pada konfigurasi ini akan diselidiki nilai *output* pada beban jika tidak menggunakan umpan balik. Percobaan berikut disambungkan sebagai rangkaian “closed-loop”, artinya rangkaian feed-bak disambungkan ke *input* arduino. Hasil simulasi pada proteus secara grafis terlihat pada Gambar 11.



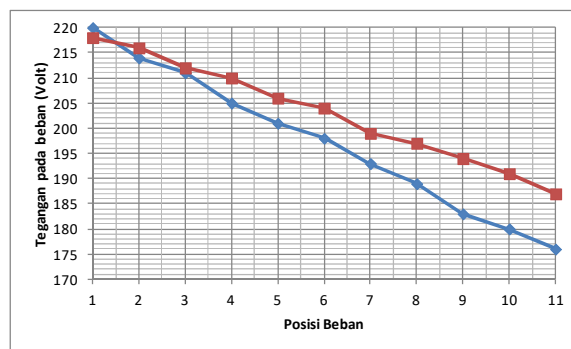


Gambar 11. Nilai tegangan luaran pada konfigurasi open loop dan closed-loop, biru = tegangan *inverter* dan merah = tegangan pada beban

Dari data dan grafis terlihat bahwa setiap penurunan tegangan pada beban akan dikompensasi dengan kenaikan tegangan pada *inverter*, sehingga hasil akhir akan ada perbaikan pada tegangan beban sebesar sampai dengan 6%, seperti terlihat pada Tabel 4 dan Gambar 12.

Tabel 4. Komparasi tegangan luaran *inverter*

Posisi-RV	V Open-Loop	V Closed-Loop	Perbaikan (%)
1	220	218	-1
2	214	216	1
3	211	212	0
4	205	210	2
5	201	206	2
6	198	204	3
7	193	199	3
8	189	197	4
9	183	194	6
10	180	191	6
11	176	187	6



Gambar 12 Tegangan pada beban, merah =dengan umpan balik dan biru = *inverter* tanpa umpan balik.

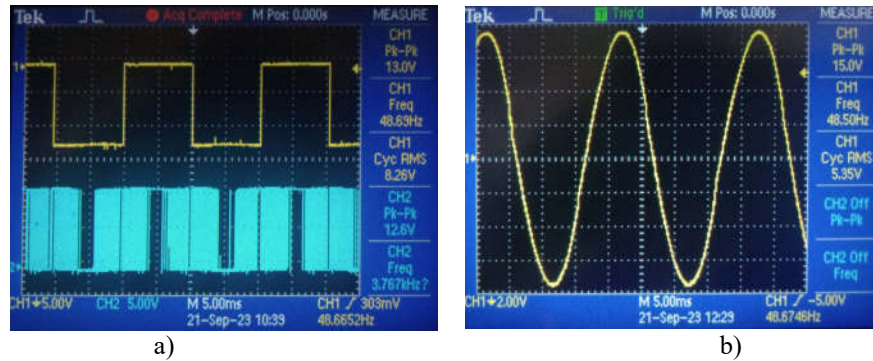
Dari pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa program arduino dan hasil simulasi pada proteus telah memberikan hasil yang sesuai seperti diharapkan, yaitu bahwa ada perbaikan nilai tegangan luaran dengan adanya umpan balik dan program mampu memperbaiki nilai tegangan luaran pada *inverter* dengan hasil bentuk gelombang berbentuk sinusoida yang baik seperti terlihat ada Gambar 12.

### 3.11 Percobaan *Inverter* dengan Umpan balik

Pada saat sistem arduino disambungkan dengan *driver* L298 dengan nilai tegangan catu 12 Vdc, maka luaran sinyal SPWM dan frekuensi dasar terlihat pada gambar 14a, dan bentuk gelombang luaran dari transformator terlihat pada gambar 14b. Terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan adalah gelombang sinusoida yang relatif bagus dan terbaca pada osiloskop sebesar 15,0 Vpp atau 5,35 Vrms, nilai tersebut didapatkan karena *output inverter* diumpankan kembali ke trafo ukur untuk memperkecil tegangan agar mampu diamati

dengan osiloskop, namun jika diukur dengan menggunakan multimeter akan didapatkan nilai sekitar 135 Vrms.

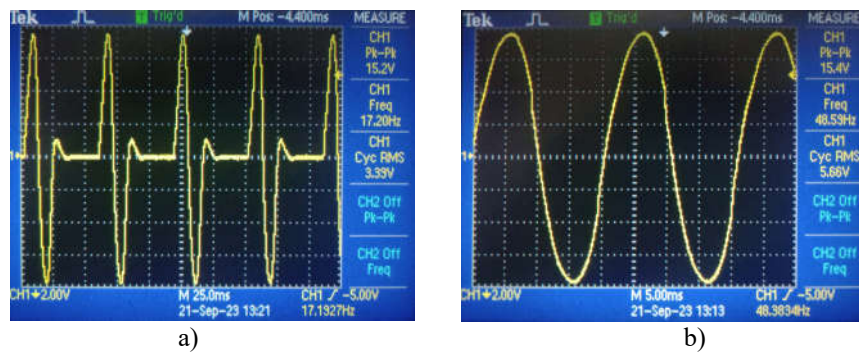
Pada saat tegangan umpan balik mencapai batas minimum sebesar 3,85 Vdc, maka *output inverter* akan hilang/gagal berfungsi dan gelombang *output* yang dihasilkan seperti terlihat pada Gambar 13 (a). Nilai batas bawah ini memang sudah dirancang sejak awal, namun bentuk gelombang yang dihasilkan tidak terdefinisikan. Jika tegangan umpan-balik VFB kembali pada batas minimum yang di ijinakan, maka gelombang *output* akan dipulihkan kembali. Jika nilai tegangan umpan balik berubah, maka nilai tegangan rms juga akan berubah seperti terlihat pada Tabel 5.



Gambar 13. Bentuk sinyal luaran dari L-298 dan *inverter* (a) Sinyal dasar dan SPWM (b) Gelombang luaran pada FB 4,9 Vdc

Tabel 5. Tegangan *inverter* sebagai fungsi tegangan umpan balik

No.	Tegangan FB (Volt-dc)	Multimeter (Volt-rms)	Osiloskop (Volt-pp)	Osiloskop (Volt-rms)
1	4,96	133	16,6	5,79
2	4,92	133	16,7	5,85
3	4,87	135	16,7	5,83
4	4,70	137	16,9	5,92
5	4,64	138	17,0	6,01
6	4,59	139	17,0	6,03
7	4,44	140	17,0	6,06
8	4,34	141	17,0	6,08
9	4,27	142	17,0	6,13
10	4,12	142	17,0	6,20
11	4,01	143	17,1	6,25
12	3,96	144	17,1	6,29
13	3,91	144	17,0	6,25
14	3,89	Gagal		



Gambar 14. Bentuk gelombang luaran *inverter* sebagai fungsi tegangan umpan balik (a) Luaran dengan FB=3,85Vdc (b) Luaran dengan FB=3,87 Vdc

Dari data yang terdapat pada Tabel 5, maka dapat disimpulkan bahwa sistem telah bekerja dengan baik sesuai dengan harapan, bahwa jika tegangan luaran *inverter* turun, maka sistem akan berusaha untuk menaikkan tegangan dengan cara menaikkan prosentasi siklus kerja pada SPWM.

Hal ini juga terlihat pada bentuk tegangan luaran *inverter* pada Gambar 13 (b) dan gambar 14 (b). dimana nilai Tegangan RMS akan meningkat untuk nilai FB lebih rendah, hal ini ditunjukkan dengan bentuk gelombang sinusoida yang lebih gemuk. Bentuk gelombang sinusoida yang terjadi tidak sempurna seperti pada saat simulasi, hal ini memerlukan penelitian lebih lanjut pada pembangkitan gelombang SPWM dengan memperhatikan ketidak-sempurnaan komponen yang tersedia. Jika tegangan *output* tidak sampai 220 volt, hal ini disebabkan karena tegangan catu untuk *driver* L-298 hanya sebesar 12Vdc. Jadi untuk mendapatkan tegangan 220 Vac harus dicatu dengan tegangan 12Vrms yang ekuivalen dengan tegangan dc sebesar 17 Vdc. Dan tegangan SPWM sebesar 34 Vpp.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil pelaksanaan penelitian dari perancangan hingga pengujian, alat telah berfungsi dengan baik. Alat ini terdiri dari mikroprosesor Arduino Uno sebagai pembangkit SPWM dengan dengan nilai siklus kerja (*duty cycle*) yang bisa diatur sesuai dengan nilai tegangan umpan balik dari tegangan luaran *inverter* dan modul motor *driver* L298 sebagai H-bridge serta transformator penaik tegangan. Program arduino dirancang menghasilkan gelombang SPWM dengan nilai siklus kerja variabel sesuai dengan nilai tegangan umpan balik yang diindera melalui pin-A0 arduino. Penambahan sudut adalah  $0^0$  s/d  $10^0$  untuk nilai tegangan *inverter* nominal 220V sampai tegangan minimal yang diijinkan sebesar 190V. Sehingga sistem *inverter* akan beroperasi pada tegangan 190 Vac s/d 220 Vac. Dibawah 190 Vac sistem akan dibuat dalam kondisi OFF. Hasil dari penelitian didapat bahwa dengan sistem yang menggunakan pengaturan siklus kerja untuk menambah waktu ton pada gelombang SPWM akan memberikan perbaikan kinerja *inverter* dengan diperoleh nilai pengaturan tegangan meningkat sebesar 6% lebih baik jika dibandingkan dengan *inverter* tanpa pengaturan ton. Dari simulasi memberikan hasil luaran *inverter* yang berbentuk gelombang sinusoida sempurna, namun pada realisasi komponen nyata gelombang sinusoida yang dihasilkan tidak bisa sempurna 100%, masih ada sedikit lengkungan/ ketidak simetrian antara bentuk gelombang naik dan gelombang turun pada siklus sinusoida tersebut. Untuk itu diperlukan penelitian lanjutan terkait pembangkitan sinyal SPWM yang dihubungkan dengan ketidak-sempurnaan komponen nyata..

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mohammad Luqman , Achmad Komarudin , Sidik Nurcahyo : “Rancang bangun pembangkit Sinusoidal Pulse Width Modulation berbasis arduino”, JURNAL ELTEK Vol. 20, No. 1, April 2022, hal. 25-32 p-ISSN: 1693 – 4024 | e-ISSN: 2355-0740 DOI: 10.33795/eltek.v20i1.333
- [2] Mohammad Luqman, Herwandi Herwandi, Donny Radianto : “Rancang bangun *driver inverter* 1000 Watt dengan kendali EGS – 002” Jurnal ELTEK Vol. 19, No. 1, 29 April 2022, Hal. 94-100 ; p-ISSN: 1693 – 4024 | e-ISSN: 2355-0740 DOI: 10.33795/eltek.v20i1.333
- [3] Ratna Ika Putri, Fahrul Maulana, Herman Hariyadi, 2021 : “Desain *Inverter* Full – Bridge 1 Fasa dengan DSP F28069M Menggunakan Teknik Sinusoidal Pulse With Modulation (SPWM)” , Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 20, No. 2, Juli - Desember 2021, hal: 257 – 264.
- [4] Nisfa Sri Ayu Kaliky, Son Ali Akbar, Ahmad Raditya Cahya Baswara, 2022 : “Design of One-Phase *Inverter* Using EGS002 with SPWM”, Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro, Vol. 4, No. 3, December 2022, pp. 132-141, DOI: 10.12928/biste.v4i3.6567.
- [5] Khusnul Mubarak, Ibrahim Nawawi, Ika Setyowati, 2021 : “Implementasi Teknik Direct Digital Synthesis (DDS) untuk *Inverter* Satu Fasa Sinus Murni 0.5 kVA”, THETA OMEGA: Journal of Electrical Engineering, Computer, and Information Technology. Vol. 2 No. 1 tahun 2021.
- [6] Andi Suryadi, Haerul Pathoni, Samratul Fuady, 2020 : “Rancang Bangun *Inverter* Satu Fasa dengan Variasi *Input* 12 V DC dan 24 V DC untuk Keluaran 220 V AC” , Jurnal Engineering, Vol. 2 Nomor 1, Januari 2020.
- [7] Sukmayuwana, Raka Aji; Hardianto, Triwahju; Hadi, Widyono, 2020 : “Kontrol Tegangan *Inverter* Full Bridge Satu Fasa Berbasis Arduino Uno R3 Menggunakan Kontrol PID” , Jurnal Arus Elektro Indonesia (JAEI), Vol. 6, no. 1, p. 22-26, apr. 2020.
- [8] Toshiba ... : “DC-AC *Inverter* Circuit , Application Note”, Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation, 2018.
- [9] Sanjay Dixit, Ambreesh Tripathi, Vikas Chola, and Ankur Verma : “800VA Pure Sine Wave *Inverter*’s Reference Design, Application Report, SLAA602A”, Texas Instruments Incorporated, 2017.

- 
- [10] Firas Mohammed Ali Al-Raie, Hawraa Qasim Hameed : “Design and Implementation of a Microcontroller Based DC/AC *Inverter*” , Al-Mansour Journal / Issue ( 24 ), 2015 , page 19 – 20.
- [11] Mitsubishi Electric : “*Inverter* FREQROL Basic (Function) – IND”, Mitsubishi Electric Corporation, 2014.
- [12] Trace Engineering : “A Review of *Inverter* Designs and Topologies”, Trace Engineering Company, Inc. 5916 - 195th Street N. E. Arlington, WA 98223, 2000. Antonius Rajagukguk, Riski Kurniawan , 2021 ; “*Design Inverter SPWM Tow Frequency Based Soil Moisture Sensor Using Arduino*”, International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering (IJEPPSE) e-ISSN: 2654-4644 Vol. 4, No. 2, pp. 163-168.