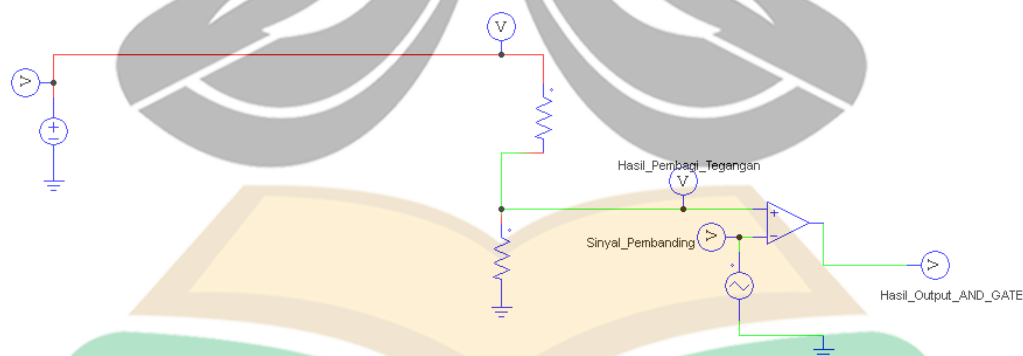


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini dilakukan pembahasan dari sistem *controlled rectifier* untuk pengaturan kecepatan motor DC dengan menggunakan *controller* PID yang telah dirancang. Pengujian meliputi pengambilan data simulasi dan implementasi dengan melakukan variasi nilai *firing angle* dari *controlled rectifier* dan nilai *setpoint* dari motor DC yang telah ditentukan. Pembahasan dilakukan untuk data simulasi dan data implementasi. Setelah didapatkan hasil data pengujian, dilakukan pembahasan untuk menganalisis sistem pengendalian kecepatan motor DC yang telah dibuat.

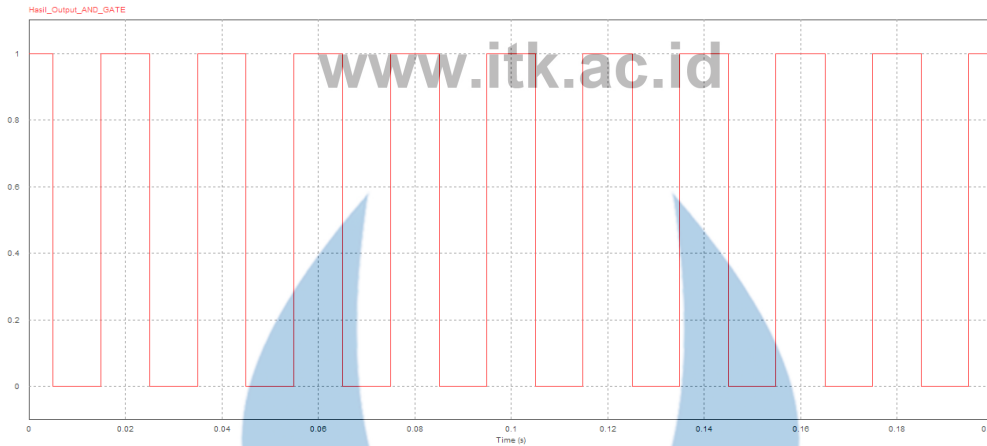
4.1 Pulsa Pembangkitan

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan proses perubahan sinyal sebuah gelombang dengan pengaturan besar kecilnya lebar pulsa gelombang. Rangkaian sinyal PWM dalam tugas akhir ini berfungsi sebagai kendali sistem *controlled rectifier*. Hasil simulasi *controlled rectifier* menggunakan pembangkitan pulsa PSIM sebagai simulatornya. Gambar 4.1 merupakan rangkaian untuk pembangkit pulsa PWM.



Gambar 4.1 Rangkaian pembangkitan respons pulsa

Untuk sinyal pembangkitan dibutuhkan 2 sinyal, sinyal modulasi dan *carrier*. Dari kedua sinyal tersebut dibandingkan dengan menggunakan komparator. Gambar 4.2 merupakan hasil respons sinyal keluaran dari *output* pembangkitan.

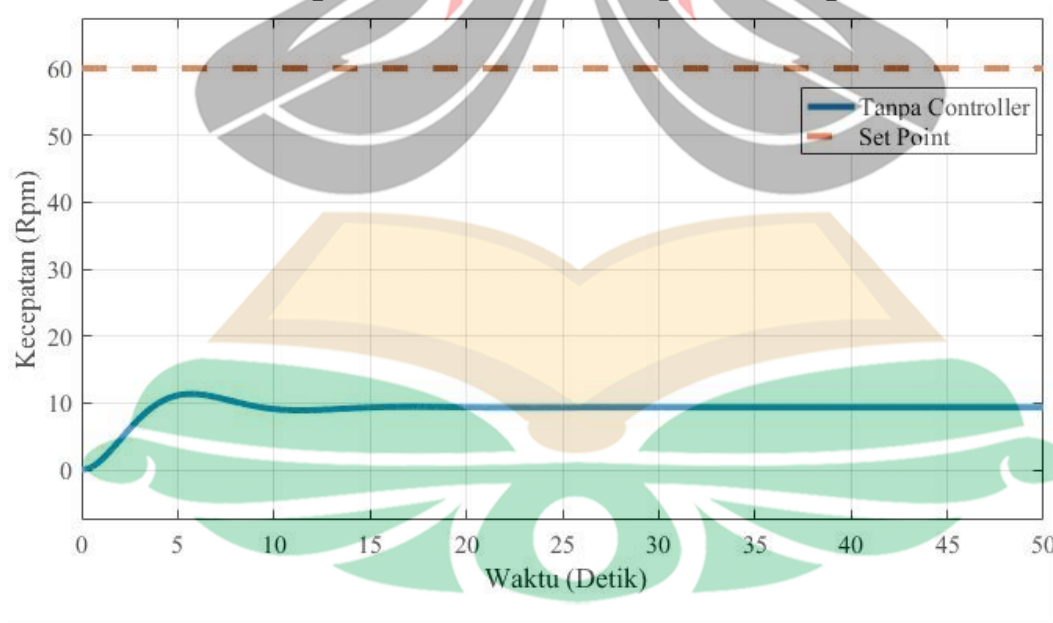


Gambar 4.2 Respons pulsa *output* pembangkitan

4.2 Hasil Pengujian Tanpa *Controller* dengan Matlab

Simulasi ini dilakukan untuk melihat respons sistem *closed loop* tanpa menggunakan *controller*. Simulasi tanpa *controller* ini menggunakan 2 *setpoint* yang berbeda, yaitu 60 Rpm dan 120 Rpm. Variasi *setpoint* diberikan untuk mendapatkan perbandingan karakteristik respons transien dan *steady-state* untuk kecepatan yang berbeda. Hasil simulasi untuk kedua variasi kecepatan tersebut dijelaskan pada subbab 4.2.1 dan 4.2.2

4.2.1. Simulasi Tanpa PID *Controller* (*Setpoint* 60 Rpm)



Gambar 4.3 Hasil respons sistem tanpa *controller* dengan *setpoint* 60 Rpm

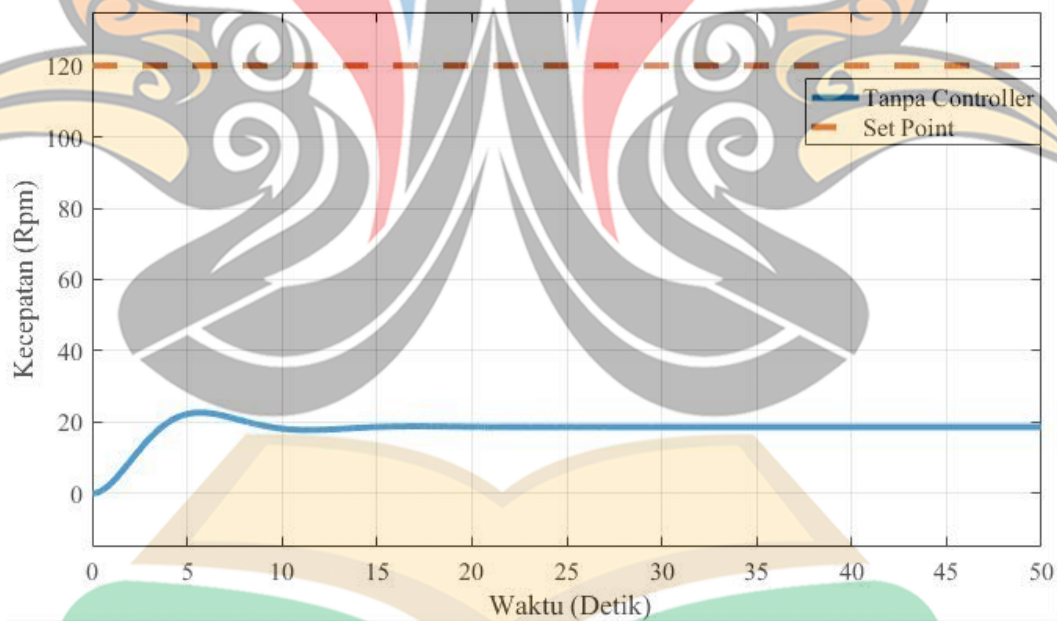
www.itk.ac.id

Bedasarkan gambar 4.3, sistem mengalami kondisi transien dengan nilai *maximum overshoot* sebesar 21,42%. Kecepatan yang didapatkan pada simulasi mencapai kondisi *steady-state* pada detik ke-12 dengan besar 10 Rpm, dapat dilihat bahwa sistem tidak dapat mencapai nilai *setpoint* yang diberikan yakni 60 Rpm sehingga didapatkan *error steady-state* sebesar 84,805%. Dikarenakan respons sistem tidak mencapai nilai *setpoint* yang diberikan, sistem tidak memiliki nilai *rise time*. Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik respons sistem transien dan *steady-state* sistem yang terbentuk.

Tabel 4.1 Karakteristik Transien Sistem tanpa *Controller* (60 Rpm)

Karakteristik Transien	Nilai
<i>Rise Time</i>	-
<i>Overshoot</i>	21,42%
<i>Error Steady State</i>	84,80%

4.2.2 Simulasi Tanpa PID *Controller* (*Setpoint* 120 Rpm)



Gambar 4.4 Hasil respons sistem tanpa *controller* dengan *setpoint* 120 Rpm

Sistem diberikan nilai *setpoint* kecepatan sebesar 120 Rpm pada saat simulasi. Data yang diambil dan digunakan untuk analisis dari hasil respons sistem adalah nilai kecepatan saat kondisi *time rise*, *steady state* dan nilai *peak*. Hasil respons sistem tanpa *controller* dengan *setpoint* 120 Rpm ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Berdasarkan gambar 4.4, sistem mengalami kondisi transien dengan nilai *maximum overshoot* sebesar 21,338%. Kecepatan yang didapatkan pada simulasi mencapai kondisi *steady-state* pada detik ke-6,662 dengan besar 18,23 Rpm, sehingga didapatkan *error steady-state* sebesar 84,8083%. Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik respons sistem transien dan *steady-state* sistem yang terbentuk.

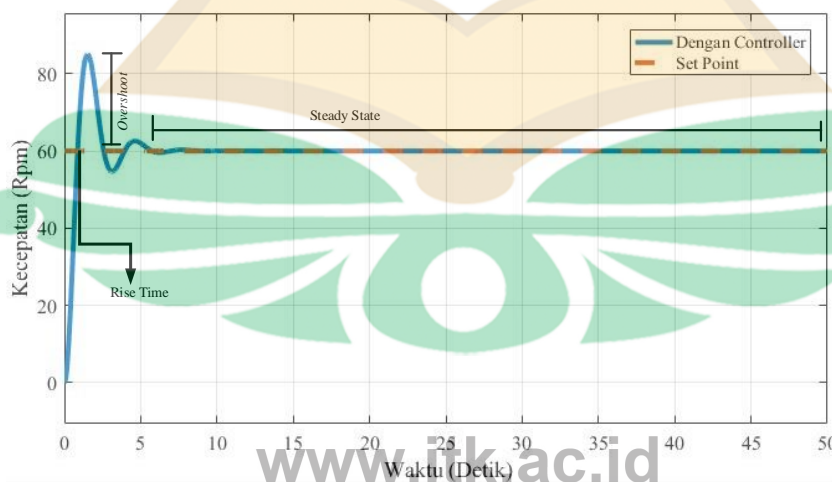
Tabel 4.2 Karakteristik Transien Sistem tanpa *Controller* (120 Rpm)

Karakteristik Transien	Nilai
<i>Rise Time</i>	-
<i>Overshoot</i>	21,338%
<i>Error Steady State</i>	84,803%

4.3 Hasil Pengujian *Controller* dengan Matlab

Simulasi ini dilakukan untuk melihat respons sistem dengan menggunakan *PID controller*. Simulasi juga menggunakan 2 *setpoint* yang berbeda, yaitu 60 Rpm dan 120 Rpm. Hasil penalaan *controller PID* dengan *trial and error*, agar mendapatkan respons sesuai yang diinginkan Karakteristik yang digunakan agar respons motor dengan nilai yang diinginkan menunjukkan kondisi *time rise* cepat, hal ini dengan memperbesar nilai *proporsional* (K_p) dan nilai *integral* (K_i) dan untuk mengurangi *error steady-state* ditambahkan nilai *derivative* (K_d). Penalaan *trial and error* digunakan nilai K_p sebesar 89, K_i sebesar 49 dan K_d sebesar 27. Hasil simulasi untuk kedua variasi kecepatan tersebut dijelaskan pada subbab 4.3.1 dan 4.3.2

4.3.1 Simulasi dengan *PID Controller* (*Setpoint* 60 Rpm)



Gambar 4.5 Hasil respons sistem *PID controller* pada *setpoint* 60 Rpm

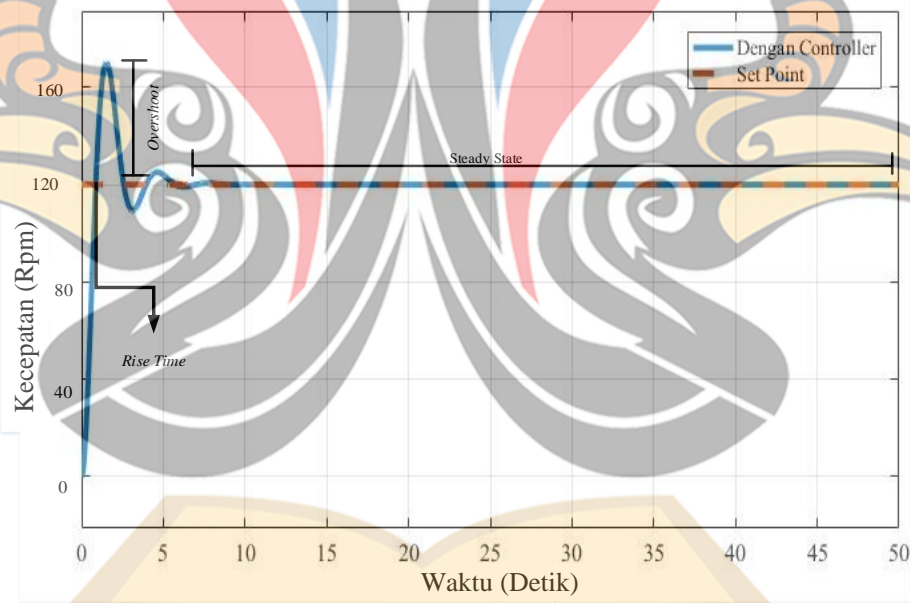
Simulasi ini dilakukan untuk melihat respons kecepatan sistem dengan menggunakan PID controller dengan *setpoint* sebesar 60 Rpm. Gambar 4.5 menunjukkan respons kecepatan yang terbentuk.

Berdasarkan gambar 4.5 didapatkan hasil berupa spesifikasi respons transien dimana sistem mengalami *maximum overshoot* sebesar 6,28%. Sistem mengalami kondisi *steady state* pada detik ke-7,32 detik dengan *rise time* sebesar 0,84 detik.

Tabel 4.3 Karakteristik Transien dan *Steady-State* dengan PID Controller (60 rpm)

Karakteristik Transien	Nilai
<i>Rise Time</i>	0,84 detik
<i>Overshoot</i>	41,71%
<i>Steady State</i>	7,32
<i>Error Steady State</i>	0%

4.3.2 Simulasi dengan PID Controller (*Setpoint* 120 Rpm)



Gambar 4.6 Hasil respons dengan PID controller pada *setpoint* 120 Rpm

Simulasi ini dilakukan untuk melihat respons kecepatan sistem tanpa menggunakan controller dengan *setpoint* sebesar 120 Rpm. Gambar 4.6 menunjukkan respons kecepatan yang terbentuk

Berdasarkan gambar 4.6 didapatkan hasil berupa spesifikasi respons transien dimana sistem mengalami *maximum overshoot* sebesar 41,70%. Sistem mengalami kondisi *steady state* pada detik ke-7,45 detik dengan *rise time* sebesar 0,87 detik.

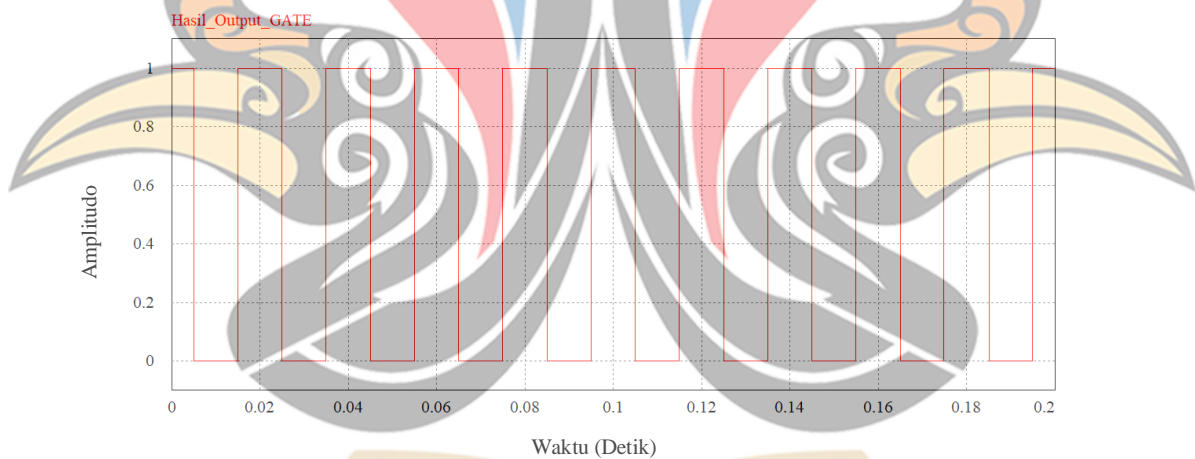
Tabel 4.4 menunjukkan karakteristik respons sistem transien dan *steady-state* sistem yang terbentuk.

Tabel 4.4 Karakteristik Transien dan *Steady-State* dengan PID Controller (120rpm)

Karakteristik Transien	Nilai
<i>Rise Time</i>	0,87 detik
<i>Overshoot</i>	41,70%
<i>Steady State</i>	7,45 detik
<i>Error Steady State</i>	0%

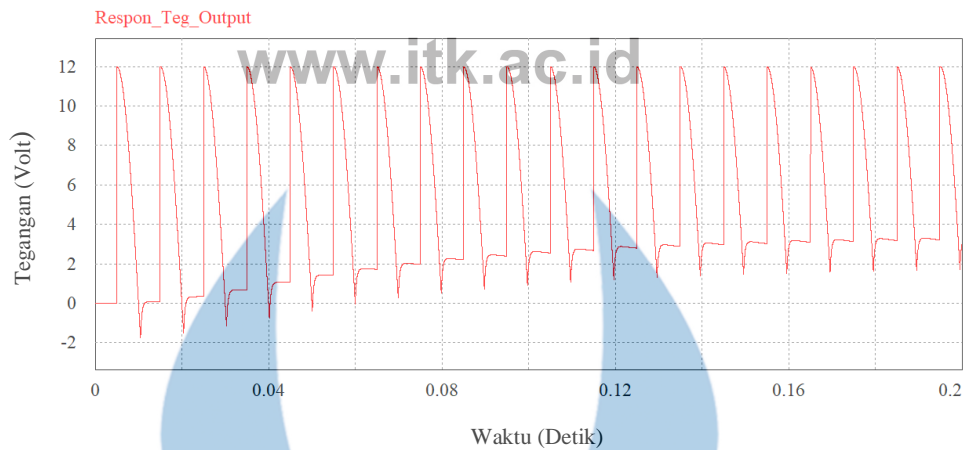
4.4 Hasil Simulasi dengan PSIM

SCR yang digunakan pada rangkaian *fullwave controlled rectifier* membutuhkan sebuah sinyal masukan. Sinyal masukan yang digunakan berupa pulsa PWM dari mikrokontroler. Sinyal tersebut digunakan untuk mengaktifkan *gate* yang terdapat pada SCR. Pulsa pembangkitan PWM yang digunakan untuk sinyal masukan terdapat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Respons pulsa pembangkitan dengan *duty cycle* 45

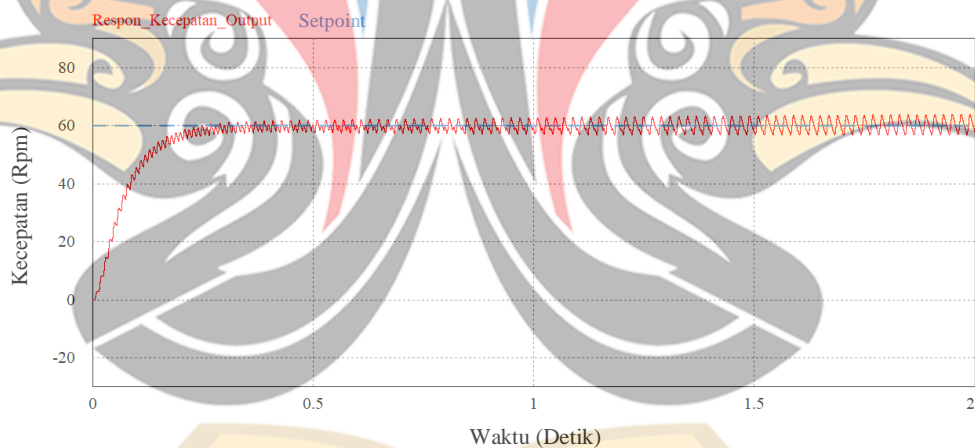
Dari persamaan *duty cycle* maka diperoleh waktu penyalaan pulsa untuk mengaktifkan SCR 0.45s. Hal tersebut mempengaruhi respons tegangan keluaran yang dihasilkan oleh *fullwave controlled rectifier*. Respons dari simulasi PSIM menghasilkan besar tegangan DC sebesar 7,633 volt dc. Hasil dengan menggunakan persamaan 2.13 besar tegangan yang dihasilkan sebesar 7,64. Dari kedua respons tersebut nilai tegangan yang dihasilkan sama. Respons tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Respons nilai tegangan dengan *duty cycle* 45

4.5 Respons Kecepatan Sistem

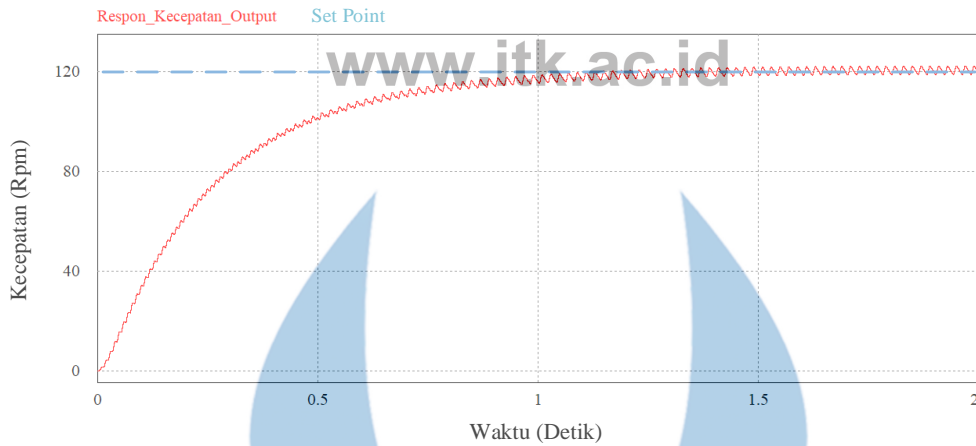
Respons kecepatan sistem dilakukan dengan variasi kecepatan 60 Rpm dan 120 Rpm. Respons kecepatan dari sistem dengan *setpoint* 60 Rpm dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Respons kecepatan dengan *setpoint* 60 Rpm

Respons sistem dengan *setpoint* 60 Rpm. Hasil respons sistem dapat dilihat pada Gambar 4.9. Nilai *steady state* 0.3 detik dan respons tegangan yang dihasilkan masih terdapat *ripple*. Hal ini terjadi karena tidak adanya komponen kapasitor pada rangkaian *fullwave controlled rectifier*.

Respons sistem dengan *setpoint* 120 Rpm, nilai *steady state* 1 detik. Respons tegangan yang dihasilkan masih terdapat *ripple*. Hal ini terjadi karena tidak adanya komponen kapasitor pada rangkaian *fullwave controlled rectifier*. Hasil respons sistem dapat dilihat pada Gambar 4.10.



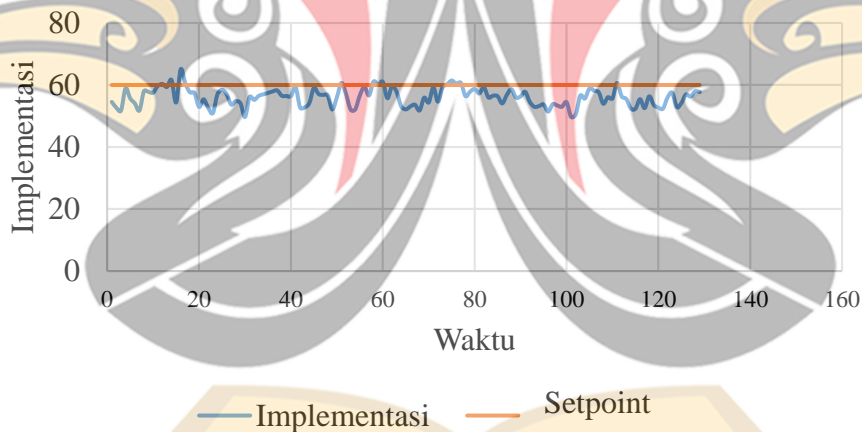
Gambar 4.10 Respons kecepatan dengan *setpoint* 120 Rpm

4.6 Hasil Pengujian *Prototype*

4.6.1 *Prototype* Tanpa *Controller*

A. Tanpa *Controller Setpoint* 60 Rpm

Hasil *fullwave controlled rectifier prototype* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.11.

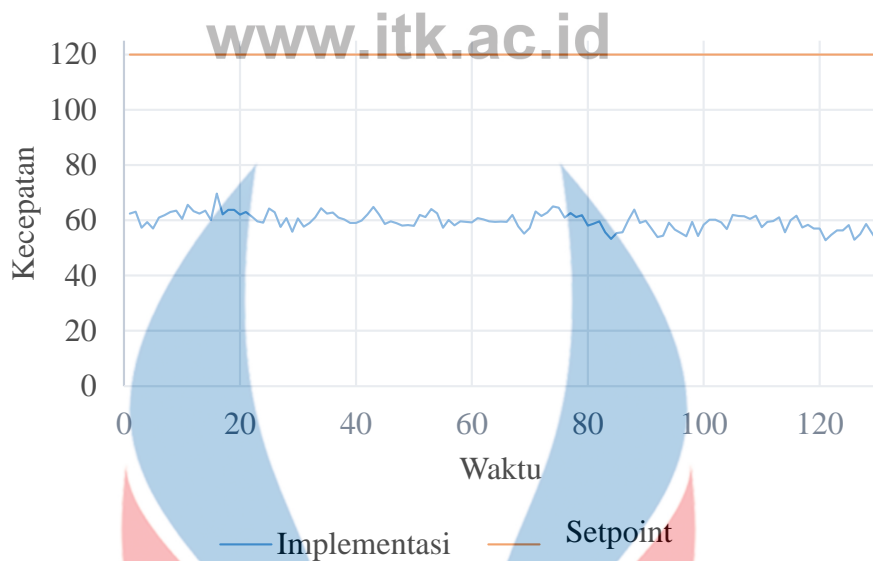


Gambar 4.11 Hasil respons sistem tanpa *controller* dengan *setpoint* 60 Rpm

Respons sistem pada *prototype* tanpa *controller* didapatkan hasil respons kecepatan dapat mencapai *set point*. Dari hasil pengambilan data didapatkan nilai kecepatan yang masih berisolasi. Nilai kecepatan yang didapatkan hasil rata-rata 56,03 Rpm.

B. Tanpa *Controller Setpoint* 120 Rpm

Hasil *fullwave controlled rectifier prototype* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.12. Respons sistem pada *protitype* tanpa *controller* didapatkan hasil respons kecepatan tidak dapat mencapai *set point* yang telah ditentukan.



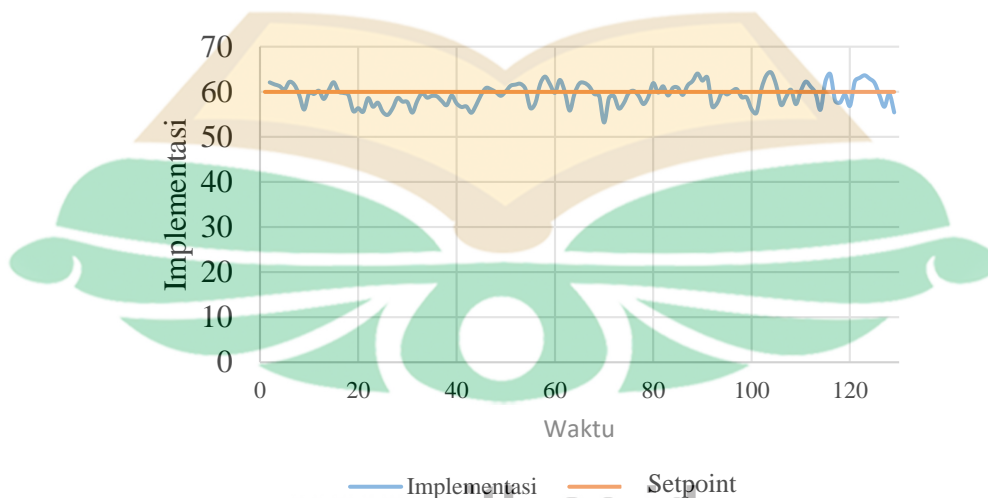
Gambar 4.12 Hasil respons sistem tanpa *controller* dengan *setpoint* 120 Rpm

Dari hasil pengambilan data didapatkan nilai kecepatan yang masih berisolasi. Nilai kecepatan yang didapatkan hasil rata-rata 59,55 Rpm. Hal ini menghasilkan nilai kecepatan jauh dari *set point*.

4.6.2 Prototype Dengan Controller

A. Dengan Controller Setpoint 60 Rpm

Hasil respons *Prototype* dengan *controller* pada *setpoint* 60 Rpm dapat dilihat pada Gambar 4.13. Hasil respons *prototype* dapat mencapai nilai *setpoint* yaitu 60 Rpm.

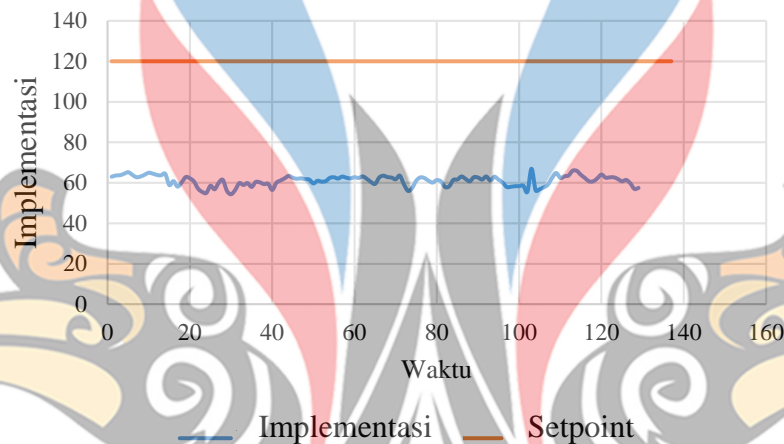


Gambar 4.13 *Prototype* dengan *controller* pada *setpoint* 60 Rpm

Dari hasil pengambilan data didapatkan nilai kecepatan yang masih berisolasi. Nilai kecepatan yang didapatkan hasil rata-rata 59,9 Rpm. Hal ini menghasilkan nilai kecepatan mencapai *set point*.

B. Dengan *Controller Setpoint 120 Rpm*

Hasil respons *Prototype* dengan *controller* pada *setpoint* 120 Rpm dapat dilihat pada Gambar 4.13. Hasil respons *prototype* tidak dapat mencapai nilai *setpoint*. Respons yang dihasilkan pada kecepatan 120 Rpm.



Gambar 4.14 *Prototype* dengan *controller* pada *setpoint* 120 Rpm

Dari hasil pengambilan data didapatkan nilai kecepatan yang masih berisolasi. Nilai kecepatan yang didapatkan hasil rata-rata 61,02 Rpm. Hal ini menghasilkan nilai kecepatan tidak mencapai *set point*.

4.7 Analisis Perbandingan Simulasi dan *Prototype*

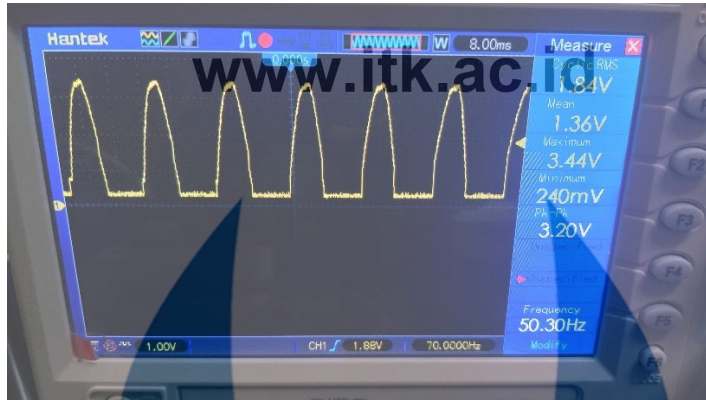
Hasil simulasi dilakukan tanpa menggunakan *controller* dan dengan menggunakan *controller*. Simulasi dilakukan tanpa menggunakan *controller* didapatkan hasil tidak dapat mencapai *set point*. Tanpa menggunakan *controller* tersebut diaplikasikan pada *prototype*. Dilakukan variasi kecepatan yaitu 60 Rpm dan 120 Rpm. Dari hasil *prototype* didapatkan nilai dari kecepatan 60 Rpm dan 120 Rpm tidak dapat mencapai nilai *setpoint*.

Simulasi dengan menggunakan *controller* didapatkan nilai *controller* PID untuk menghasilkan respons yang diinginkan. Dengan *trial dan error* didapatkan nilai K_p 89 , K_d 49 dan K_i adalah 27. Nilai PID dalam simulasi dapat mencapai nilai *setpoint* pada waktu 0,84 detik. Dengan menggunakan nilai PID tersebut diterapkan pada *prototype*. Hasil sistem dengan *prototype* dapat dikatakan belum berhasil. Hal tersebut dilihat pada respons sistem *prototype* dengan diberikan variasi nilai kecepatan sebagai *setpoint* yaitu 60 Rpm dan 120 Rpm, namun tidak ada perubahan nilai.

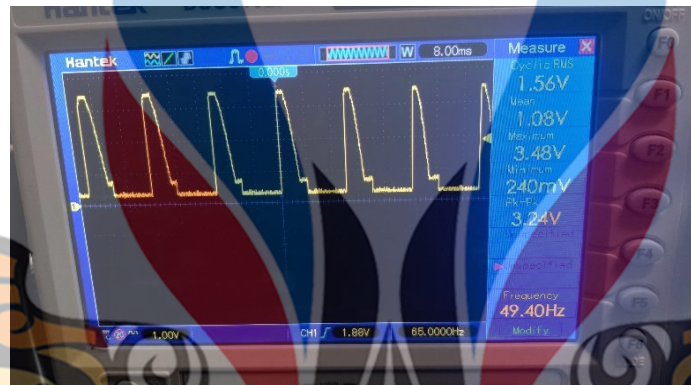
Dari hasil pengujian *prototype* tanpa menggunakan *controller* dan dengan menggunakan *controller*, rangkaian *fullwave controlled rectifier* pada penelitian tugas akhir ini terbukti hanya dapat mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Namun dari hasil pengujian *prototype* didapatkan pula hasil sistem yang tidak dapat mengikuti perubahan nilai *setpoint* yang diberikan berupa kecepatan.

Tidak mencapainya nilai *setpoint* yang diharapkan dikarenakan tidak adanya rangkaian penguat. Rangkaian penguat ini merupakan berupa tegangan DC. Nilai sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler akan dikuatkan oleh rangkaian penguat sehingga besar tegangan yang dihasilkan tergantung dari besar *duty cycle* yang dibangkitkan. Sinyal PWM berpengaruh pada nilai besar tegangan yang dihasilkan rangkaian penguat dimasukkan ke pin mikrokontroler sehingga dapat dibangkitkan pulsa penyalaan untuk rangkaian *controlled rectifier*. Hal ini berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penelitian sebelumnya (Nataliana, 2016)

Rangkaian *fullwave controlled rectifier* menghasilkan tegangan *ripple*. *Ripple* disebabkan perubahan dari tegangan bolak-balik yang kemudian disearahkan. Hal ini terbukti dari keluaran sistem yang diukur menggunakan *oscilloscope*. Hasil keluaran dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16. Adanya *ripple* ini dikarenakan tidak adanya komponen dioda *freewhelling*. Fungsi dioda *freewhelling* mulai *on* pada saat *rectifier* tidak lagi beroperasi untuk menghasilkan tegangan yang searah, namun akan terjadi pembuangan energi dalam bentuk arus oleh beban yang bersifat induktif tinggi. Adanya dioda *freewhelling* arus pembuangan dari beban dapat disirkulasikan kembali pada motor. Sehingga kontinuitas dari arus beban dapat terjaga, sehingga kontinuitas arus yang mengalir menjadi stabil (Nataliana, 2016).



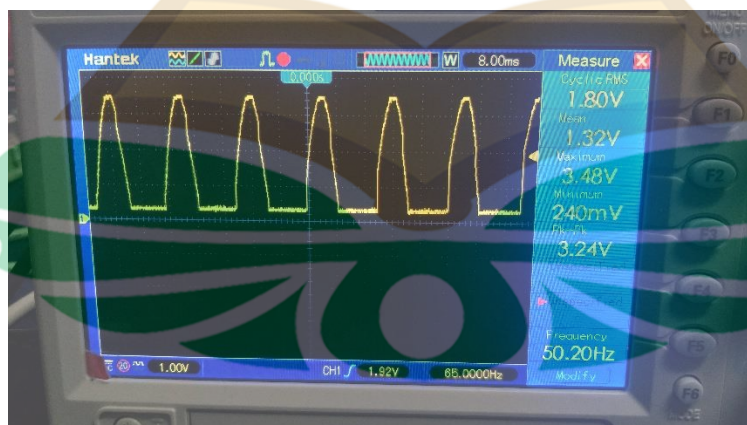
(a)



(b)

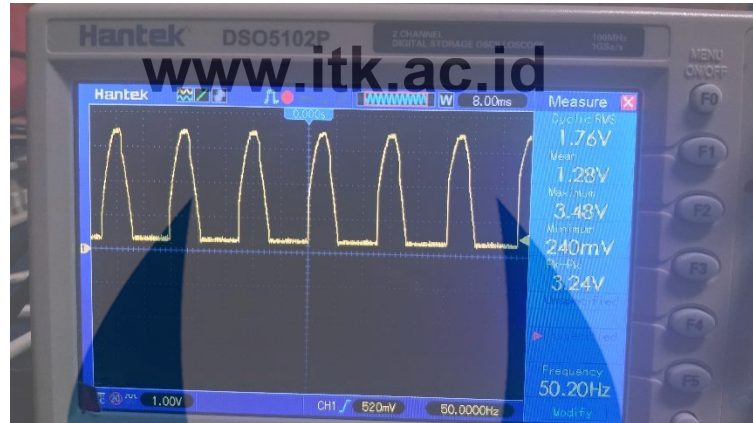
Gambar 4. 15 Grafik pengukuran tegangan keluaran sistem dengan *controller* pada : (a) *Setpoint* 60 Rpm (b) *Setpoint* 120 Rpm

Gambar 4.15 (a) dan (b) merupakan hasil keluaran *oscilloscope* dari *prototype*. Didapatkan bentuk gelombang yang osilasi dengan nilai yang sama pada *oscilloscope*.



(a)

www.itk.ac.id



(b)

Gambar 4.16 Grafik pengukuran tegangan keluaran sistem tanpa *controller* pada :
(a) *Setpoint* 60 Rpm (b) *Setpoint* 120 Rpm

Gambar 4.16 (a) dan (b) didapatkan hasil yang sama dengan gambar Gambar 4.15 (a) dan (b). Hasil keluaran *oscilloscope* dari *prototype* didapatkan bentuk gelombang yang osilasi dengan nilai yang sama pada *oscilloscope*.

