

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang telah dirancang mampu bekerja sesuai perancangan atau tidak, dan performansi sistem yang teramati sudah memenuhi spesifikasi desain atau belum. Pengujian yang dilakukan antara lain:

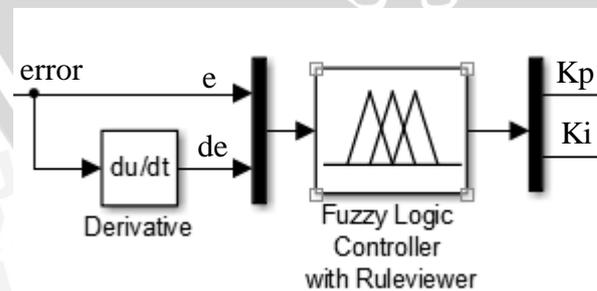
#### 4.1. Simulasi Sistem Menggunakan MATLAB & SIMULINK

Sebelum rancangan kontroler diimplementasikan ke dalam sistem, maka terlebih dahulu dilakukan simulasi terhadap kontroler yang telah dirancang, agar dapat diketahui perkiraan performansi sistem dan masalah yang bakal terjadi ketika implementasi.

##### 4.1.1. Simulasi Sistem Tanpa Beban

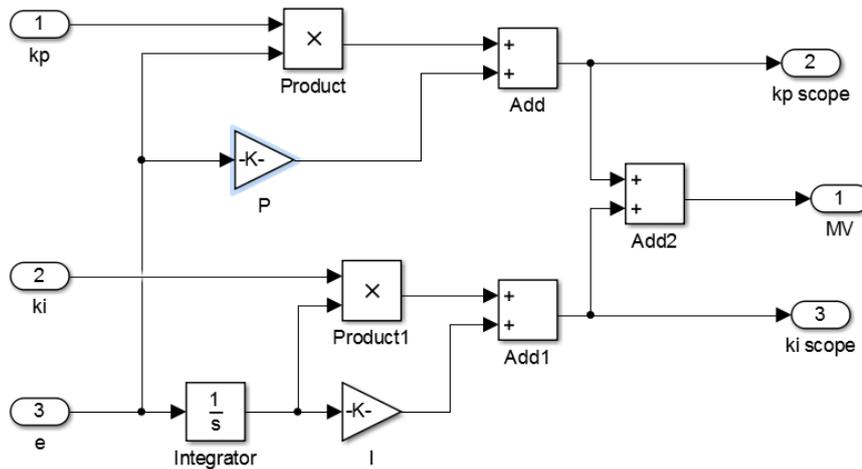
Simulasi dilakukan dengan memberikan *setpoint* berupa *unit step* yang berfungsi sebagai sinyal tes untuk mengetahui performansi sistem. Kemudian, *setpoint* dimasukkan ke dalam blok penjumlahan (*summing*) dan dikurangkan terhadap *output* sistem, untuk mendapatkan error.

*Error* (selisih antara *setpoint* dan umpan balik) yang telah didapat kemudian dimasukkan kedalam blok *fuzzy*. Sebelum masuk kedalam blok *fuzzy* diberikan *multiplexer 2 input 1 output* di mana salah satu *input* diberi blok fungsi diferensial, yang berfungsi untuk mengubah *error* menjadi *delta error* (selisih antara error saat ini dan error sebelumnya). *Output* blok *fuzzy* diberikan *demultiplexer 1 input 2 output* sebagai *output fuzzy* untuk  $K_p$  dan  $K_i$ . Blok kontrol logika *fuzzy* dapat dilihat dalam Gambar 4.1.



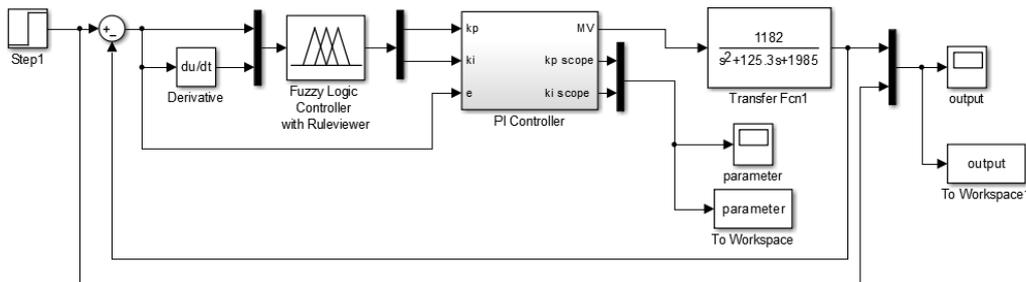
Gambar 4.1 Simulasi blok kontrol logika *fuzzy*

Kemudian, subsistem kontroler PI dibuat sedemikian rupa untuk menghubungkan *output* blok *fuzzy* dengan kontroler PI agar kontroler PI mampu bersinkronisasi dengan *output* parameter gain  $K_p$  dan  $K_i$  hasil penalaan dari blok *fuzzy*. Blok subsistem kontroler PI dapat dilihat dalam Gambar 4.2.



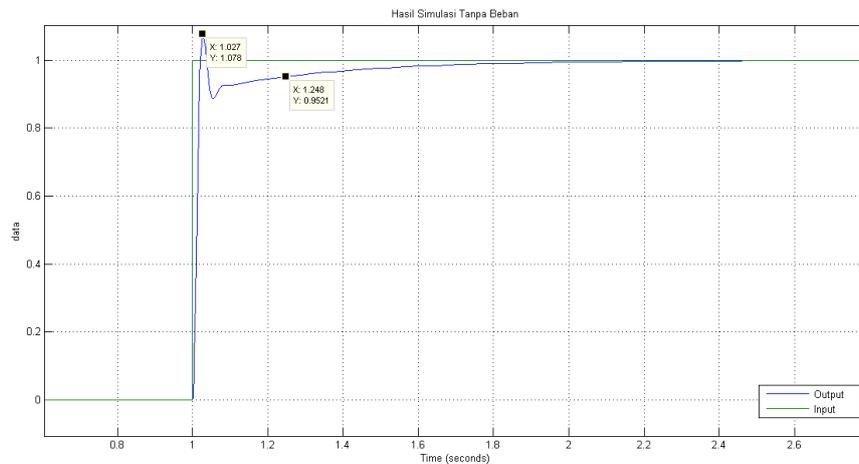
**Gambar 4.2** Simulasi blok subsistem kontroler PI

Scope diletakkan dengan dua *input* diletakkan masing – masing pada *output* kontroler PI dan *output* sistem. Pada *output* kontroler PI, diamati nilai  $K_p$  dan  $K_i$  serta perubahannya relatif terhadap waktu. Pada *output* sistem, diamati *output* sistem dan *input* atau *setpoint* dari sistem, serta ada atau tidaknya *error steady-state* ataupun *overshoot* maupun *undershoot*. Blok simulasi secara keseluruhan dapat dilihat dalam Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Blok simulasi tanpa beban dengan MATLAB SIMULINK

dan hasil simulasi dari *output* sistem tanpa beban ditunjukkan Dalam gambar 4.4

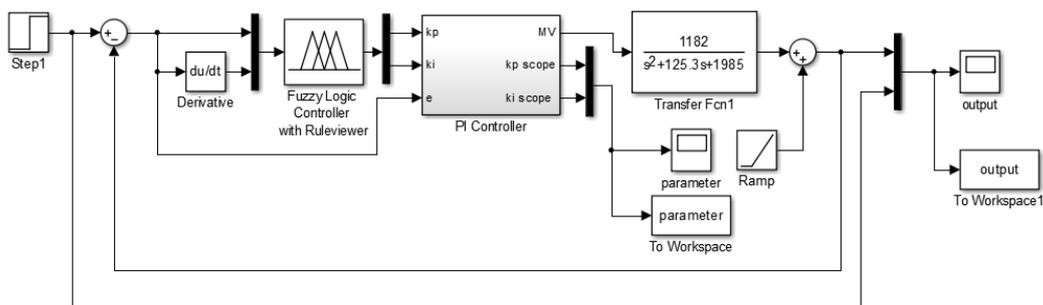


**Gambar 4.4** Hasil simulasi *output* sistem tanpa beban

Pada gambar 4.4 di atas, dapat diketahui bahwa sistem stabil, memiliki *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 1,248 s, memiliki *maximum overshoot* ( $M_p$ ) sebesar 7,8%, dan tidak memiliki *error steady-state*.

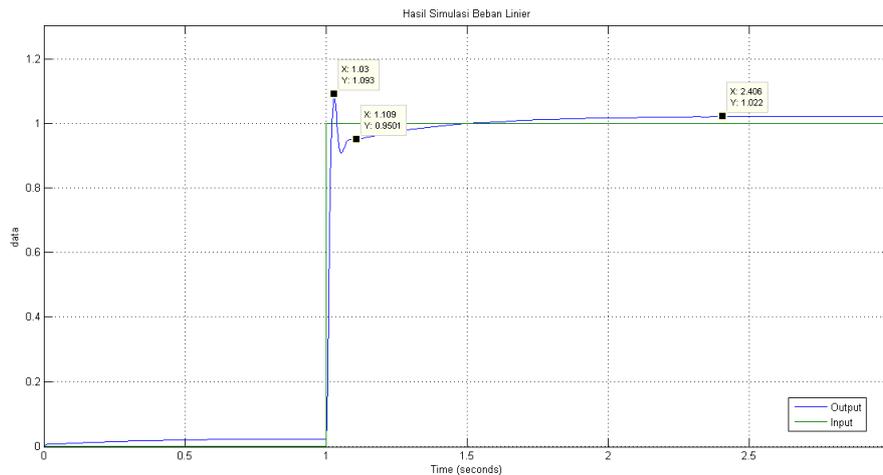
#### 4.1.2. Simulasi Sistem Berbeban Linier

Untuk mengetahui *output* sistem ketika diberi pembebanan, maka perlu pula dilakukan simulasi. Pada aplikasi kendaraan elektrik, salah satu pembebanan sistem yang paling sering ditemui adalah jalan tanjakan. Oleh karena itu, dengan memperhatikan keperluan serta kemampuan kendaran ekivalen berbasis motor bakar, di mana kendaraan tersebut dirancang untuk menghadapi tanjakan dengan kemiringan  $30^\circ$ , maka pada *output* sistem ditambahkan beban berupa fungsi bidang miring (*ramp*) dengan gradien sebesar tangen dari kemiringan tanjakan tersebut, yaitu 0,577. Blok simulasi secara keseluruhan setelah ditambahi beban dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Blok simulasi berbeban linier dengan MATLAB SIMULINK

dan hasil simulasi dari *output* sistem berbeban linier ditunjukkan pada gambar berikut:



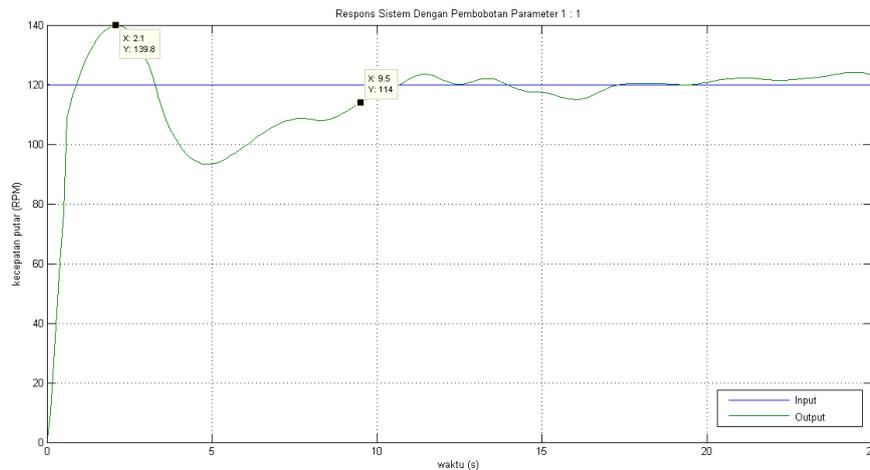
**Gambar 4.6** Hasil simulasi *output* sistem berbeban linier

Pada gambar 4.6 di atas, dapat diketahui bahwa sistem stabil, memiliki *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 1,109 s, memiliki *maximum overshoot* ( $M_p$ ) sebesar 9,3%, dan memiliki *error steady-state* sebesar 2,2%.

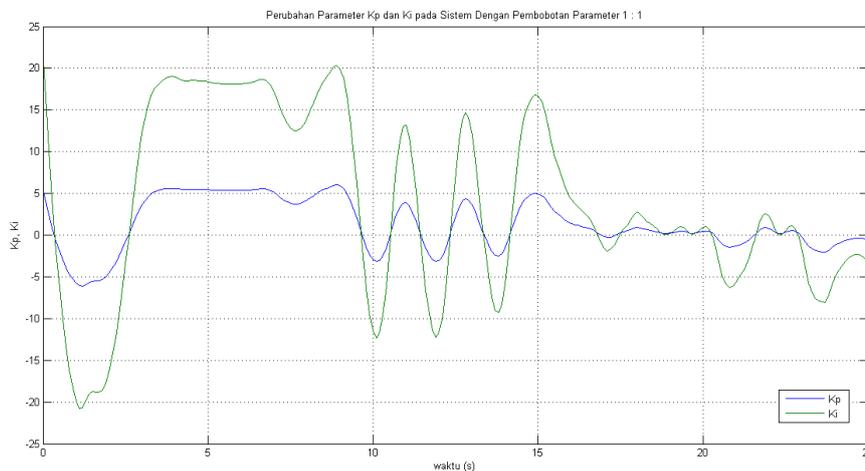
#### 4.2. Pengujian Perbandingan Bobot Penalaan Parameter Sistem

Pada bab sebelumnya telah diketahui parameter  $K_p$  dan  $K_i$  sistem menggunakan metode *Symmetrical Optimum*, dan karena sistem didesain sedemikian rupa agar kontroler PI memiliki parameter hasil penalaan dan parameter tetap, maka diperlukan perbandingan bobot pada kontroler PI, yaitu dengan cara membagi hasil parameter *Symmetrical Optimum* dengan perbandingan tertentu untuk dimasukkan ke dalam parameter tetap (kontroler PI) dan parameter hasil penalaan dari kontroler logika *fuzzy*, dengan harapan kerja sistem menjadi optimal.

Penentuan perbandingan dilakukan dengan proses *trial and error*, dengan mencoba berbagai nilai perbandingan ke dalam sistem yang dijalankan tanpa beban dengan *setpoint* sebesar 120 rpm. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Gambar 4.7, 4.8, 4.9, dan 4.10.

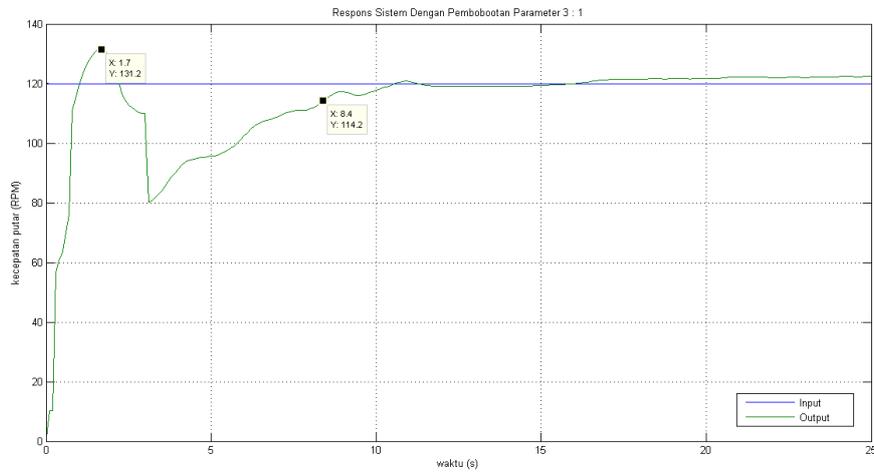


**Gambar 4.7** Output sistem dengan pembobotan parameter 1 : 1

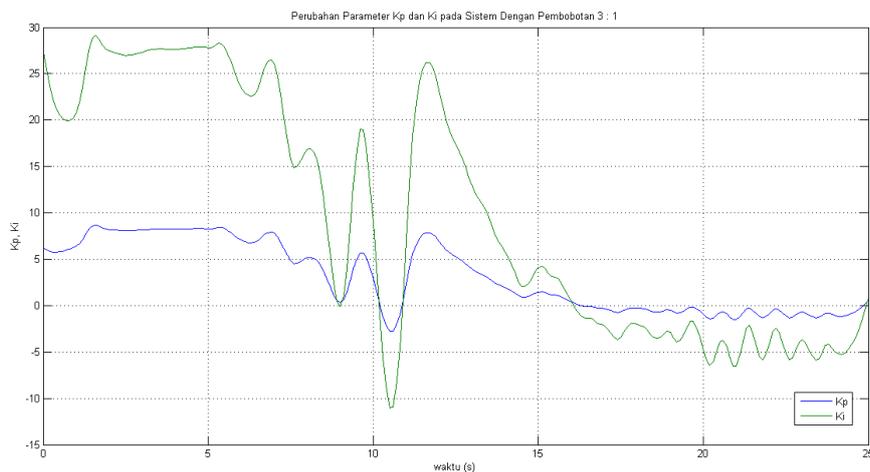


**Gambar 4.8** Perubahan parameter PI pada sistem dengan pembobotan parameter 1 : 1

Gambar 4.7 adalah *output* sistem dan Gambar 4.8 adalah perubahan parameter PI terhadap waktu pada sistem dengan perbandingan bobot parameter kontrol sebesar 1 : 1 untuk parameter PI hasil penalaan terhadap parameter PI tetap. Dari Gambar 4.7, dapat diketahui bahwa sistem stabil, dengan *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 9,5 s, memiliki *maximum overshoot* ( $M_p$ ) sebesar 16,5%, dan tidak memiliki *error steady-state*. Dari Gambar 4.8, dapat diketahui bahwa hasil penalaan  $K_p$  dan  $K_i$  berubah relatif terhadap waktu, yaitu dengan menuju pada nilai Negatif Besar pada awal sistem berjalan, kemudian berbalik ke nilai Positif Besar ketika sistem dalam keadaan peralihan, dan stabil setelah sistem mencapai keadaan *steady-state*, pada waktu 18 s.



**Gambar 4.9** Output sistem dengan pembobotan parameter 3 : 1



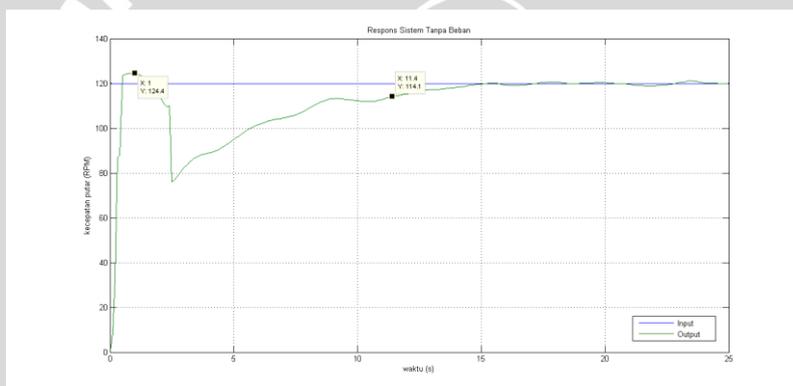
**Gambar 4.10** Perubahan parameter PI pada sistem dengan pembobotan parameter 3 : 1

Gambar 4.9 di atas adalah *output* sistem dan Gambar 4.10 adalah perubahan parameter  $K_p$  dan  $K_i$  terhadap waktu pada sistem dengan perbandingan bobot parameter kontrol sebesar 3 : 1 untuk parameter PI hasil penalaan terhadap parameter PI tetap. Dari Gambar 4.9, dapat diketahui bahwa sistem stabil, dengan *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 8,4 s, memiliki *maximum overshoot* ( $M_p$ ) sebesar 9,333%, dan tidak memiliki *error steady-state*. Dari Gambar 4.10, dapat diketahui bahwa hasil penalaan  $K_p$  dan  $K_i$  berubah relatif terhadap waktu, yaitu dengan menuju pada nilai Positif Besar pada awal sistem berjalan, kemudian menurun ke nilai Negatif Besar ketika tepat berada di *settling-time*, dan stabil setelah sistem mencapai keadaan *steady-state*, pada waktu 16 s.

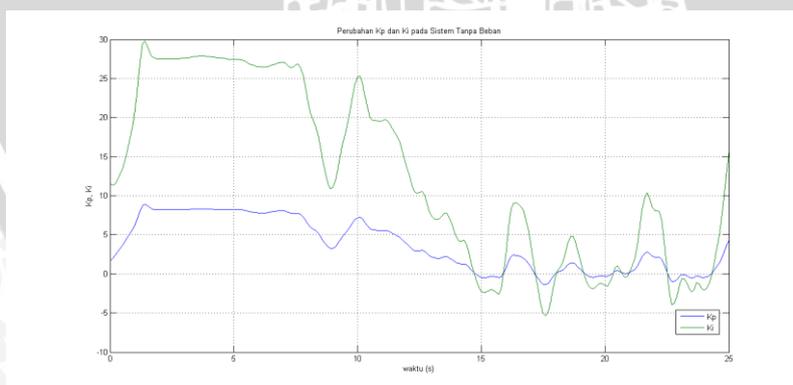
Karena nilai *maximum overshoot* ( $M_p$ ) terletak di dalam batas toleransi sebesar 10%, maka perbandingan parameter 3 : 1 tersebut digunakan dalam implementasi sistem secara keseluruhan.

### 4.3. Pengujian Pada Alat

Setelah diketahui perbandingan bobot parameter PI sistem, maka dapat dilakukan pengujian pada alat, dengan tujuan untuk mengetahui apakah *output* sistem yang didapatkan pada saat simulasi sama dengan *output* sistem pada saat algoritma kontrol diterapkan pada alat. Pengujian ini dilakukan 2 (dua) kali, yaitu pada saat sistem berjalan tanpa beban, dan pada saat sistem berjalan dengan beban berupa jalan tanjakan dengan polisi tidur di ujung jalan, dengan *setpoint* sebesar 120 rpm. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.11, 4.12, 4.13, dan 4.14.



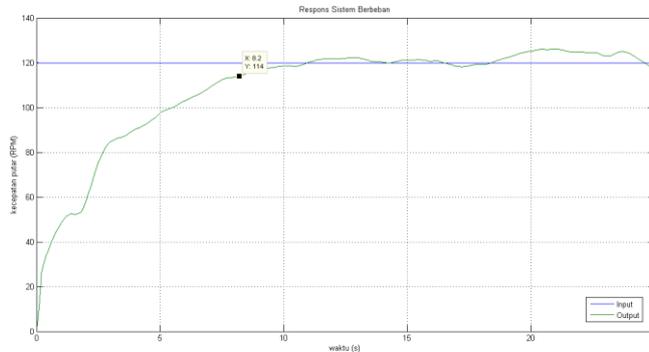
**Gambar 4.11** *Output* sistem tanpa beban



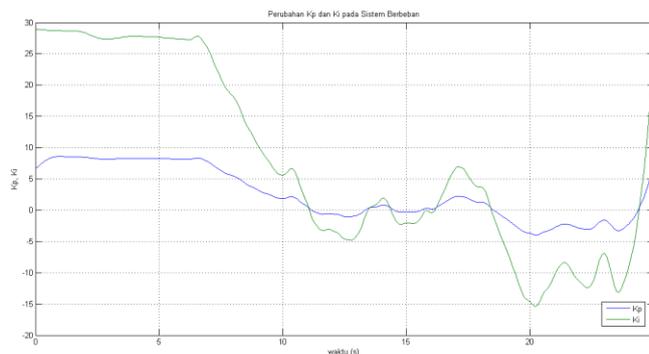
**Gambar 4.12** Perubahan parameter PI pada sistem tanpa beban

Gambar 4.11 adalah grafik *output* sistem ketika berjalan tanpa beban, dan Gambar 4.12 adalah grafik perubahan parameter  $K_p$  dan  $K_i$  terhadap waktu pada sistem yang berjalan tanpa beban. Dari Gambar 4.11, dapat diketahui bahwa sistem stabil, memiliki *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 11,4 s, memiliki *maximum overshoot* ( $M_p$ ) sebesar 9,3%, dan tidak memiliki *error steady-state*. Dari Gambar 4.12, dapat diketahui bahwa hasil penalaan  $K_p$  dan  $K_i$

berubah relatif terhadap waktu, yaitu dengan menuju pada nilai Positif Besar pada awal sistem berjalan, kemudian menurun ke nilai Negatif Kecil untuk Kp dan nilai Positif Kecil untuk Ki ketika hampir mencapai *settling-time*, dan stabil setelah sistem mencapai keadaan *steady-state*, pada waktu 15 s.



**Gambar 4.13** Output sistem berbeban



**Gambar 4.14** Perubahan parameter Kp dan Ki pada sistem berbeban.

Gambar 4.13 adalah grafik *output* sistem ketika berjalan tanpa beban, dan Gambar 4.14 adalah grafik perubahan parameter Kp dan Ki terhadap waktu pada sistem yang berjalan dengan beban. Pada Gambar 4.13, dapat diketahui bahwa sistem stabil, memiliki *settling time* ( $t_s$ ) sebesar 8,2 s, tidak memiliki *maximum overshoot* ( $M_p$ ) dan tidak memiliki *error steady-state*. Pada Gambar 4.14, dapat diketahui bahwa hasil penalaan Kp dan Ki berubah relatif terhadap waktu, yaitu dengan menuju pada nilai positif maksimal pada awal sistem berjalan, kemudian menurun ke nilai negatif ketika sistem telah mencapai *settling-time*, dan stabil setelah sistem mencapai keadaan *steady-state*, pada waktu 11 s, dan kembali menurun pada waktu 18 s dikarenakan adanya gangguan.