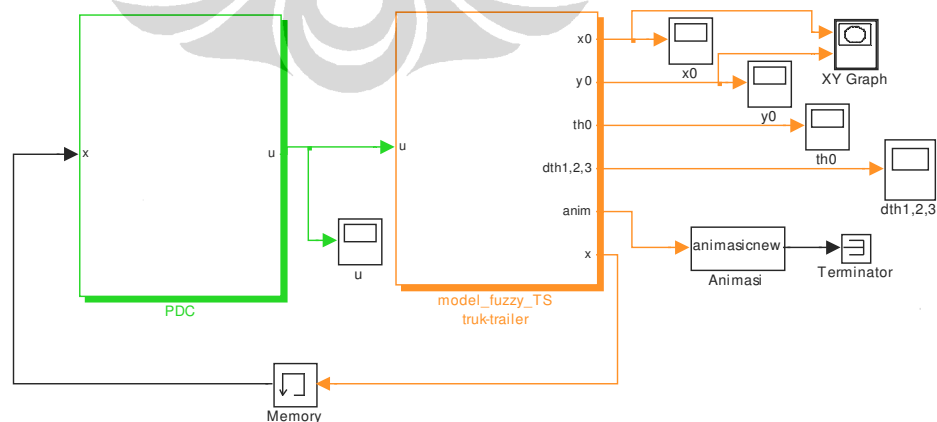


BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

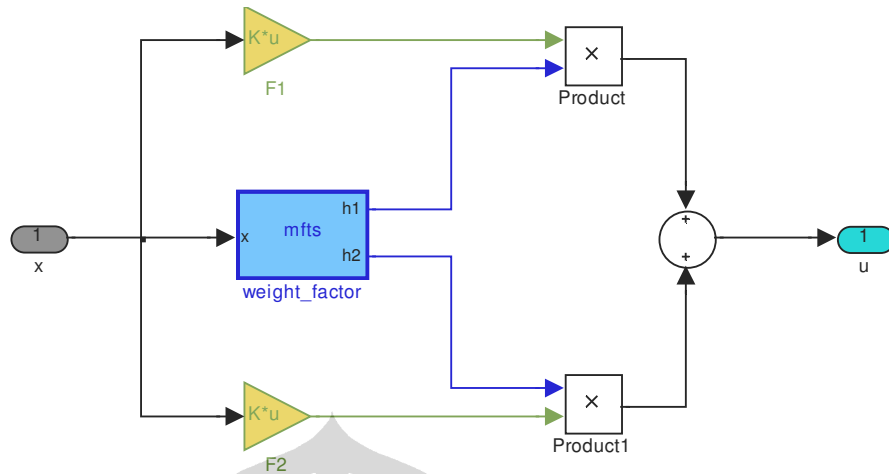
Simulasi pengendali fuzzy dilakukan pada dua jenis objek kendali yakni pada model original atau model kinematik (2.23) dan pada model fuzzy T-S (2.44), dengan memberikan target acuan yang sama, dan hasil simulasi pada kedua model tersebut akan diperbandingkan.

4.1 Simulasi Pengendali PDC pada Model Fuzzy

Simulasi pengendali fuzzy pada model fuzzy T-S dilakukan dengan memberikan masukan berupa titik acuan atau target posisi yang akan dicapai oleh truk. Simulasi dilakukan untuk beberapa target acuan dan beberapa metoda diantaranya, desain pengendali stabil, desain dengan constrain input, dan desain untuk nilai awal independen. Matriks positif definit P dan *feedback gain* F_1 dan F_2 untuk masing-masing metode diperoleh dengan algoritma optimisasi LMI, seperti yang dibahas pada Bab 3. Input pengendali adalah kecepatan dan sudut kemudi, sedangkan keluaran adalah posisi x_0 dan y_0 , serta sudut relatif antara truk dan trailer pertama, trailer pertama dan trailer kedua, dan trailer kedua dan trailer ketiga. Batasan atau *constraint* input bertujuan untuk mencegah saturasi pada sudut kemudi. *Constraint* pada output bertujuan untuk mencegah terjadinya fenomena *jack-knife*.



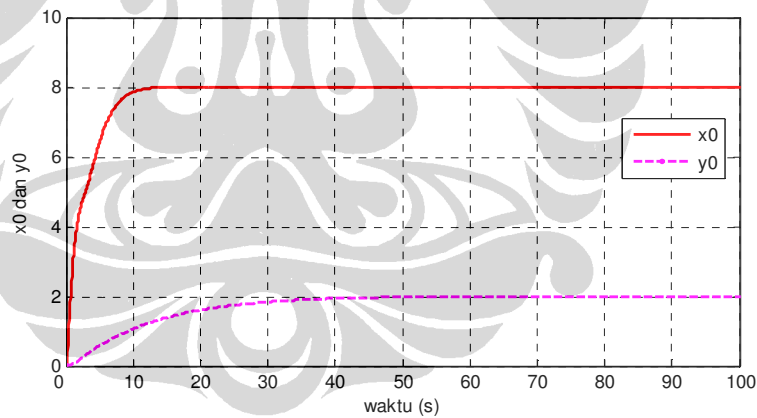
Gambar 4.1 Simulink diagram untuk simulasi PDC pada sistem linear



Gambar 4.1 Simulink diagram pengendali PDC

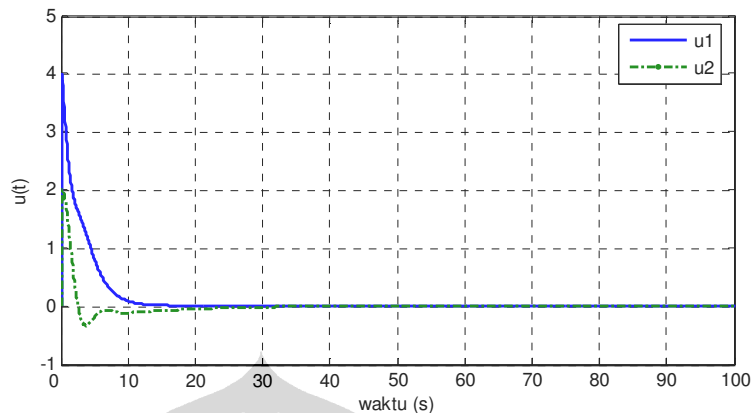
4.1.1 Hasil Simulasi untuk Desain Pengendali Stabil

Titik acuan yang diberikan adalah $(x_c, y_c) = (8, 2)$, dan kondisi awal variabel state $x(0) = 0$.



Gambar 4.3 Keluaran x_0 dan y_0 untuk desain pengendali stabil

Dari grafik pada gambar 4.1 terlihat bahwa truk cukup cepat mencapai target yang diinginkan, tetapi pada desain ini nilai maksimum input pengendali cukup tinggi yakni, $\|u_1\| = 4$, dan $\|u_2\| = 2$, seperti terlihat pada gambar 4.2. Dalam prakteknya, ada pembatasan-pembatasan untuk input pengendali, sebagai contoh untuk kasus ini, batasan maksimum kecepatan (u_1) adalah 0.2 m/s dan batasan maksimum untuk sudut kemudi (u_2) adalah $\pm 30^\circ$ atau ± 0.5 rad.



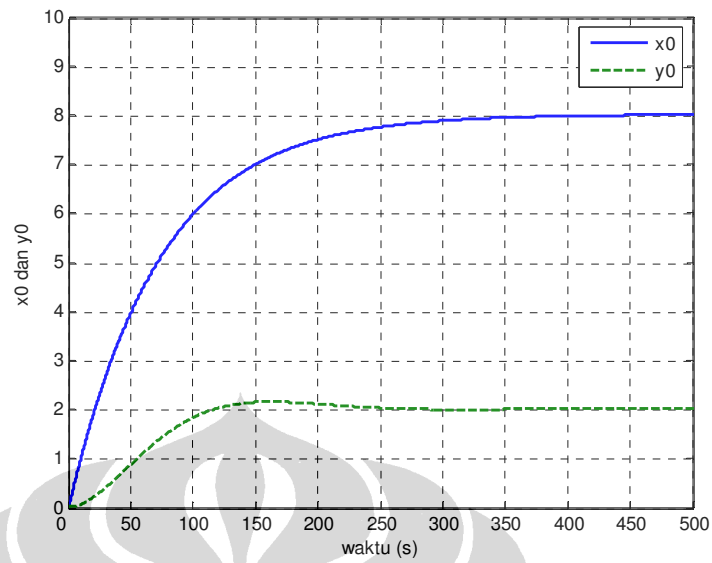
Gambar 4.4 Input kendali untuk desain pengendali stabil

Pembatasan input kendali, khususnya untuk sudut kemudi dimaksudkan untuk mencegah perubahan sudut yang besar atau selsih sudut antara truk dan trailer yang besar yang bisa mengakibatkan terjadinya fenomena *jack-knife*.

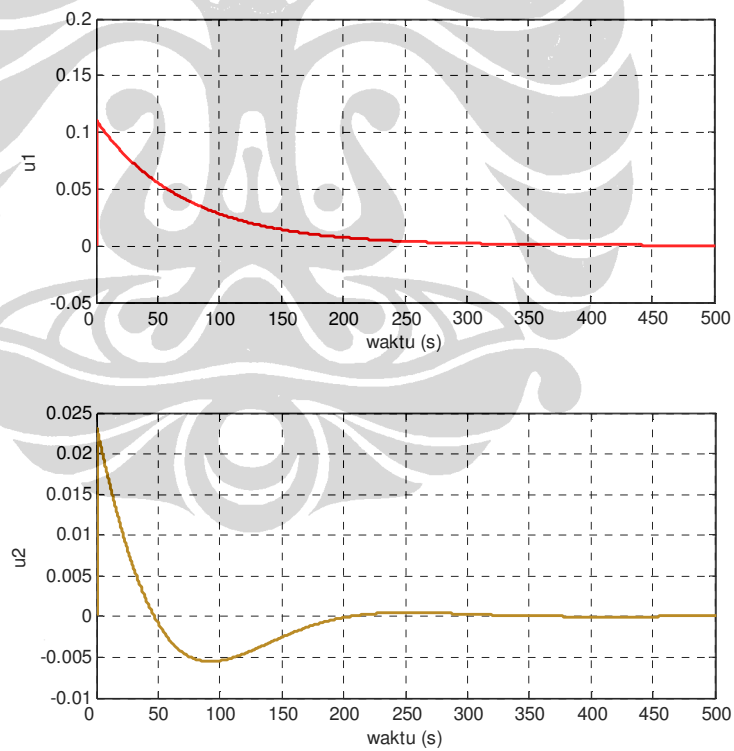
4.1.2 Hasil Simulasi untuk Disain dengan *Constraint Input*

Titik acuan yang sama diberikan untuk simulasi ini yakni $(x_c, y_c) = (8, 2)$, dan dengan menentukan kondisi awal variabel state $= [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 7 \ 7]^T$. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 4.3 dan 4.4, yang memperlihatkan bahwa masukan pengendali u mengalami penurunan yang tajam, khususnya input u_2 sehingga waktu untuk mencapai target menjadi jauh lebih lama dibanding simulasi pertama.

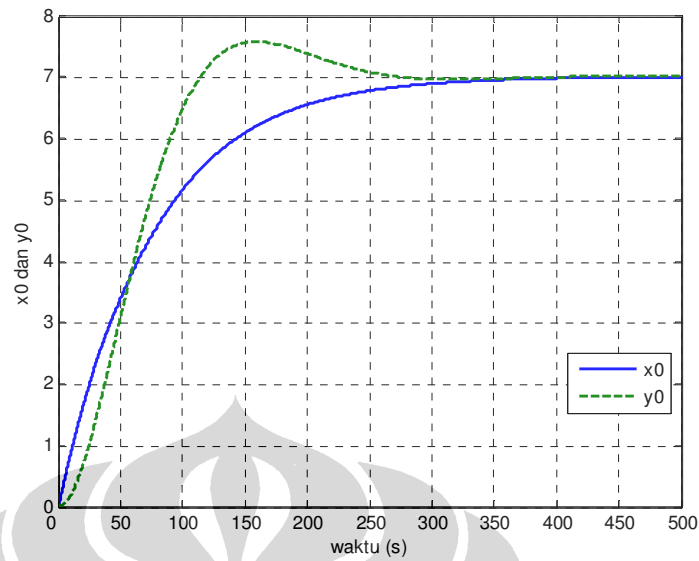
Jika target acuan dirubah menjadi $(x_c, y_c) = (7, 7)$, masukan kendali u_2 mengalami peningkatan tetapi tidak cukup signifikan. Perubahan kondisi awal variabel state akan menyebabkan perubahan nilai *feedback gain* F_1 dan F_2 sehingga harus dioptimisasi ulang. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan desain dengan nilai awal independen.



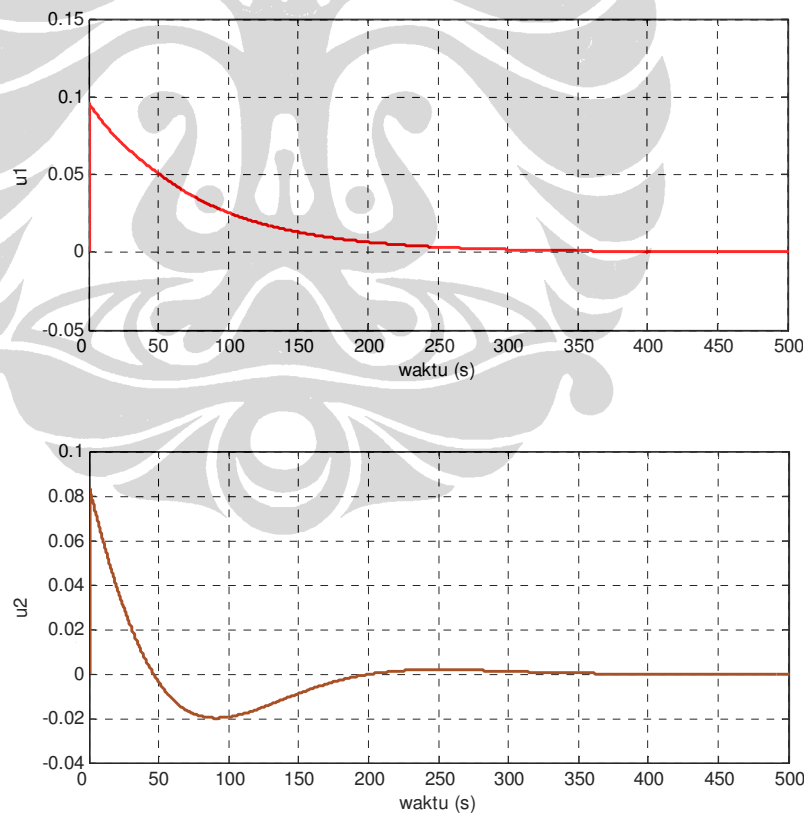
Gambar 4.5 Keluaran x_0 dan y_0 untuk desain *input constraint*



Gambar 4.6 Masukan u_1 dan u_2 untuk desain *input constraint*



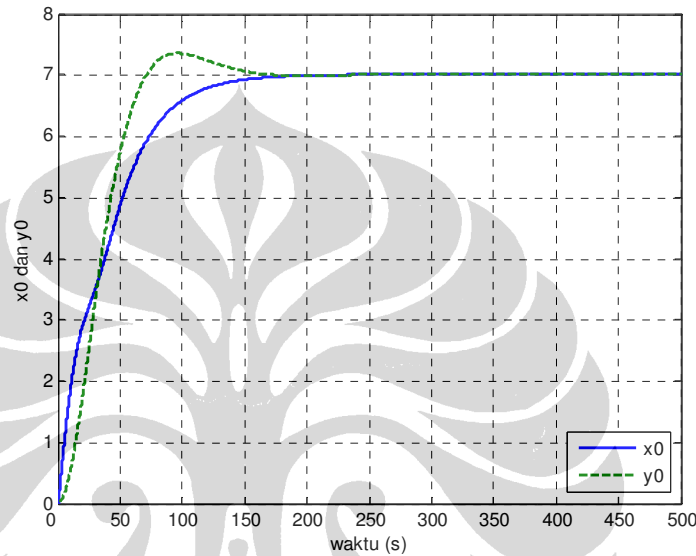
Gambar 4.7 Keluaran x_0 dan y_0 untuk desain *input constraint* untuk target $x_c=7, y_c=7$



Gambar 4.8 Masukan u_1 dan u_2 untuk desain *input constraint* untuk target $x_c=7, y_c=7$

4.1.3 Hasil Simulasi untuk Disain dengan Nilai Awal Independen

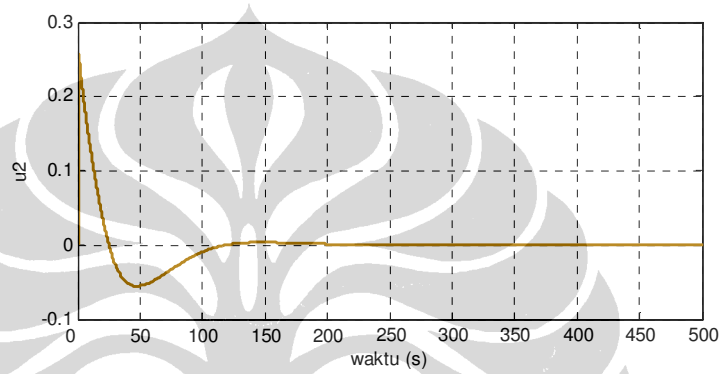
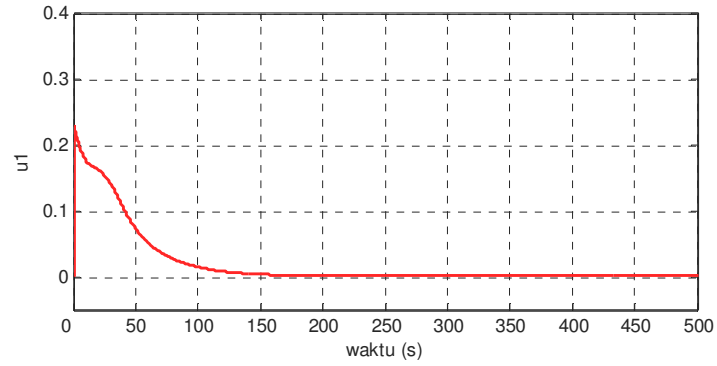
Desain dengan nilai awal independen bertujuan agar, setiap terjadi perubahan nilai awal variabel keadaan, maka tidak perlu lagi menghitung matriks *feedback gain* F_1 dan F_2 . Dalam hal ini yang perlu ditentukan adalah batas atas Φ dari $\|x(0)\|$, yakni $\|x(0)\| \leq \Phi$. Pada simulasi ini, dipilih $\Phi = 10$, dan koordinat target adalah $(x_c, y_c) = (7, 7)$.



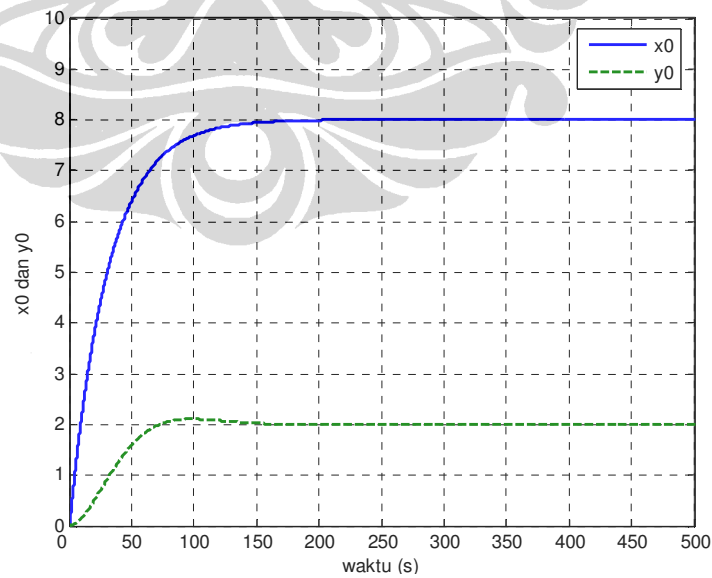
Gambar 4.9 Output untuk target $x_c = 7$, $y_c = 7$

Dari grafik terlihat bahwa waktu untuk mencapai target lebih cepat jika dibandingkan simulasi sebelumnya. Pada gambar 4.8 terlihat bahwa input meningkat tetapi masih dalam batasan yang ditetapkan.

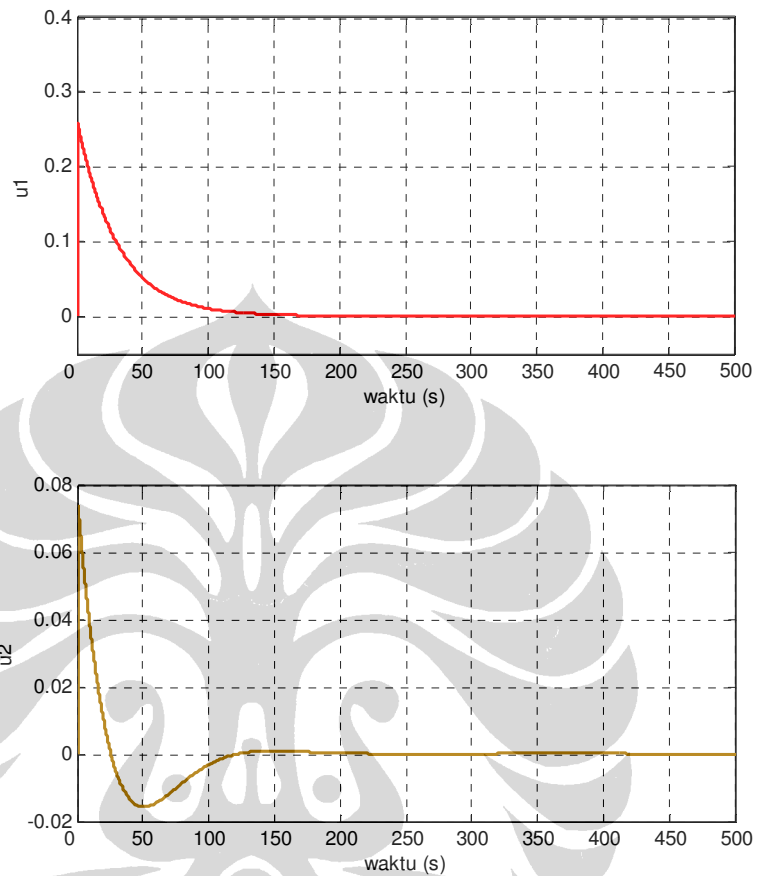
Perubahan target acuan menjadi $x_c = 8$, dan $y_c = 2$, memberikan hasil simulasi yang diperlihatkan pada gambar 4.9 dan 4.10, waktu untuk mencapai posisi target relatif sama dengan sebelumnya.



Gambar 4.10 Masukan u_1 dan u_2 untuk desain dengan nilai awal independen

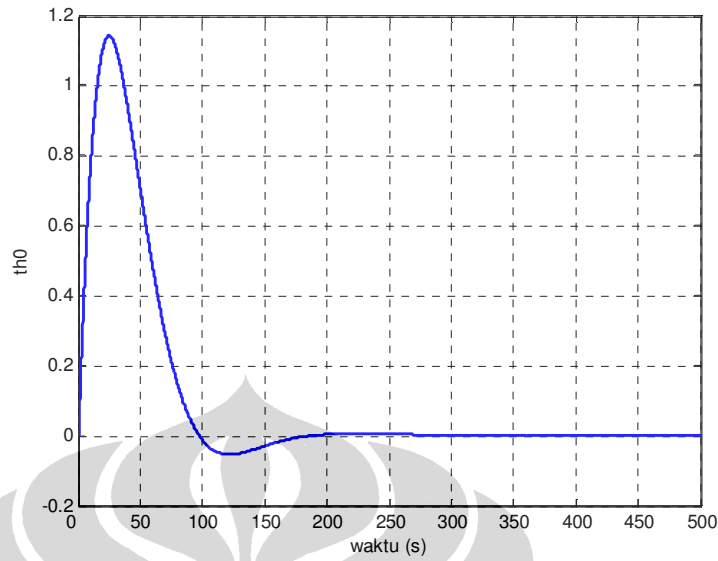


Gambar 4.11 Output untuk target $x_c = 8$, $y_c = 2$

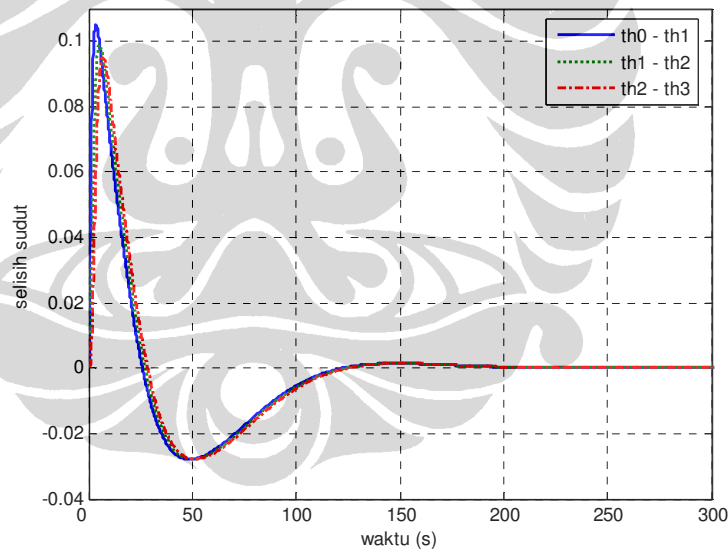


Gambar 4.12 Masukan u_1 dan u_2 untuk desain dengan nilai awal independen

Gambar 4.13 memperlihatkan keluaran berupa sudut relatif truk terhadap sumbu- x , dan gambar 4.14 memperlihatkan selisih sudut relatif antara truk dan trailer pertama, dan antara trailer yang berdekatan. Terlihat bahwa posisi sudut truk terhadap sumbu- x memperlihatkan perubahan yang teratur dan tidak terlalu besar. Maksimum sudut yang dicapai adalah sekitar 1.1 radian atau sekitar 63° .



Gambar 4.13 Keluaran sudut truk terhadap sumbu-x



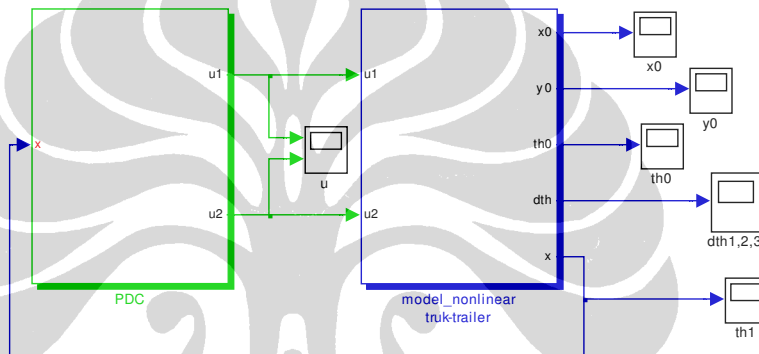
Gambar 4.14 Selisih sudut relatif antara truk-trailer1, dan antara trailer yang berdekatan

Perubahan selisih sudut relatif seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14 memperlihatkan bahwa *constraint* untuk output dipenuhi yakni tidak mencapai $\pm 90^\circ$. Garis biru kontinu pada grafik menunjukkan selisih sudut relatif antara truk dan trailer pertama. Garis hijau *dot* menunjukkan selisih sudut antara trailer 1 dan

trailer 2, sementara garis merah *dash dot* menunjukkan selisih sudut antara trailer 2 dan trailer 3. Besar selisih sudut maksimum dicapai oleh truk dan trailer pertama, dalam hal ini adalah sekitar 0.1 radian atau sekitar 6° .

4.2 Simulasi Pengendali PDC pada Model Kinematis

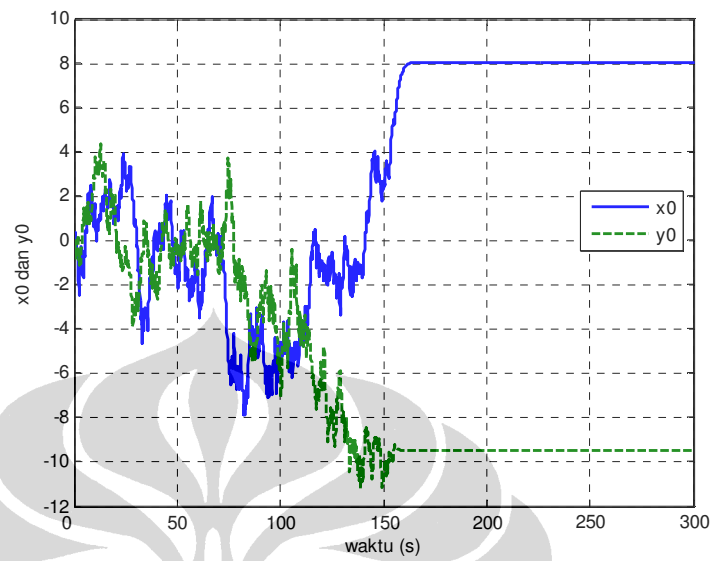
Sebagaimana uji simulasi pada model fuzzy T-S, penerapan pengendali PDC pada model kinematis (2.23) juga dilakukan dengan memberikan target acuan yang akan dicapai oleh truk.



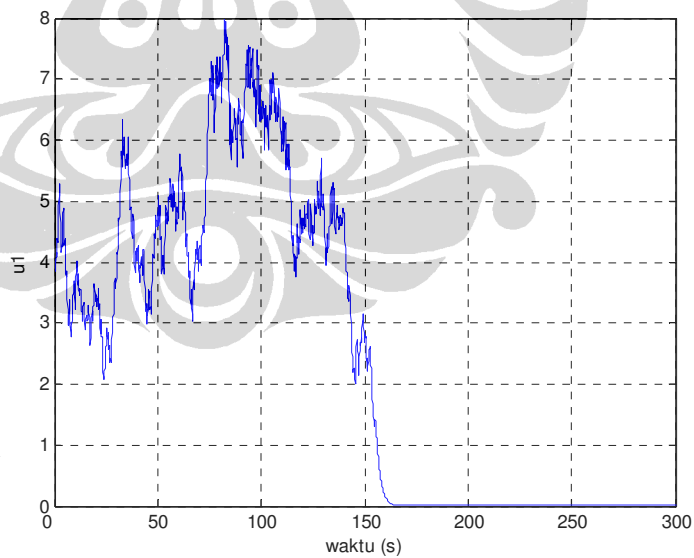
4.3

Gambar 4.15 Simulink diagram untuk simulasi PDC pada model nonlinear

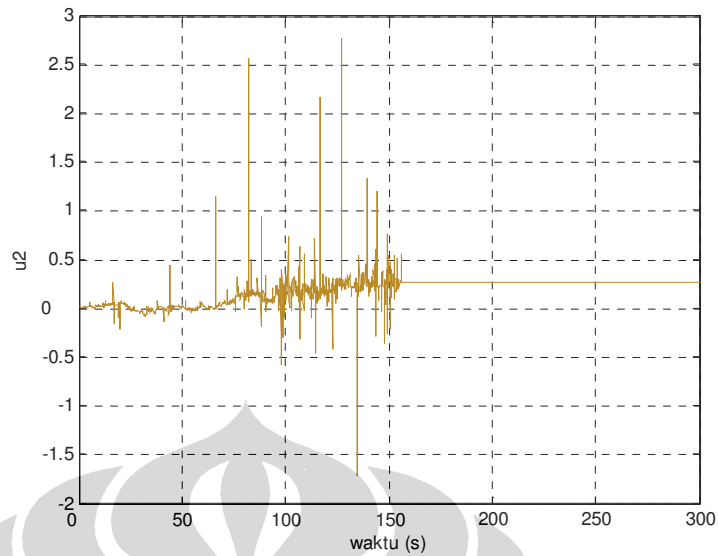
Simulasi pada model nonlinear dilakukan pada disain pengendali stabil dan disain pengendali dengan *constraint* dan *initial state independent*. Target posisi yang diujikan adalah $(x_c, y_c) = (8, 2)$ dan kemudian dirubah menjadi $(7, 7)$. Hasil simulasi simulasi pertama menunjukkan bahwa pengendali fuzzy tidak menjamin kestabilan model nonlinear, sementara pada disain kedua terlihat bahwa hasil simulasi menunjukkan kemiripan dengan hasil simulasi pada model fuzzy. Dalam hal ini pengendali fuzzy dengan disain *initial awal independent* dapat menjamin kestabilan pada model nonlinear sedangkan pada disain pengendali stabil tidak. Atau dengan kata lain disain pengendali fuzzy hanya menjamin kestabilan pada penyederhanaan model nonlinear dan pada pembatasan-pembatasan input dan output, serta pemilihan nilai awal ataupun batas atas nilai awal yang tepat.



Gambar 4.16 Hasil simulasi pengendali stabil pada model nonlinear

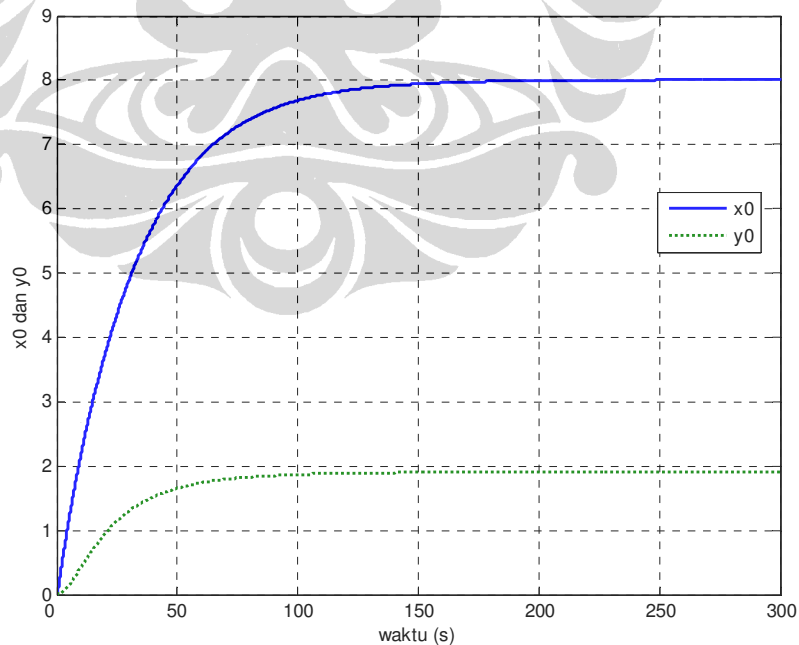


Gambar 4.17 Masukan u_1 (kecepatan) untuk simulasi pengendali stabil pada model nonlinear

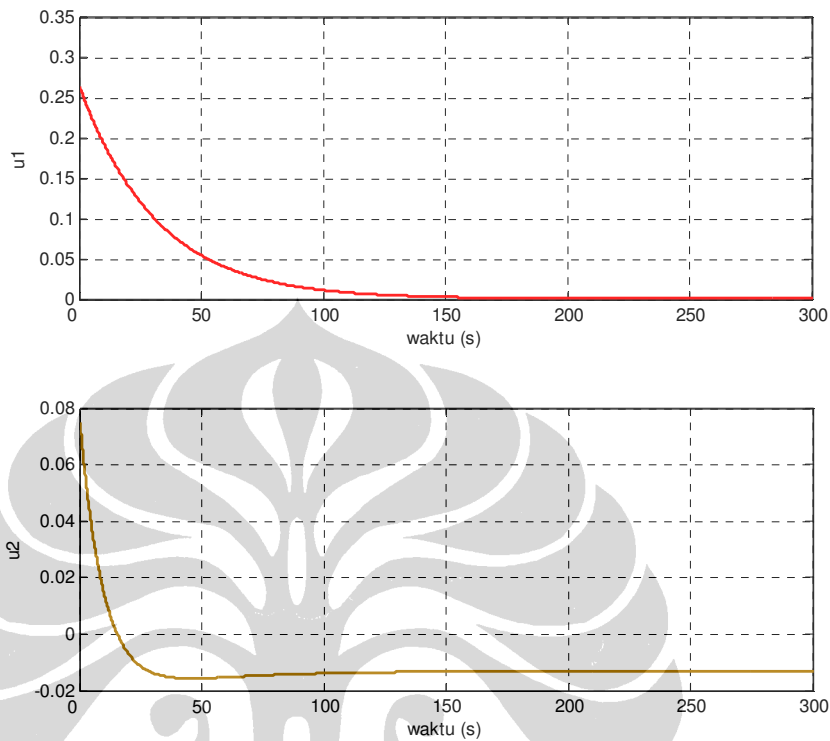


Gambar 4.18 Masukan u_2 (sudut kemudi) untuk simulasi pengendali stabil pada model nonlinear

Terlihat pada gambar 4.17 dan 4.18, input kecepatan (u_1) dan sudut kemudi (u_2) berubah secara cepat dan tidak teratur, dan melampaui batas input yang diinginkan khususnya untuk u_2 yakni 30° . Hal ini menyebabkan truk tidak bisa mencapai target yang diinginkan, khususnya untuk posisi y_{p0} .



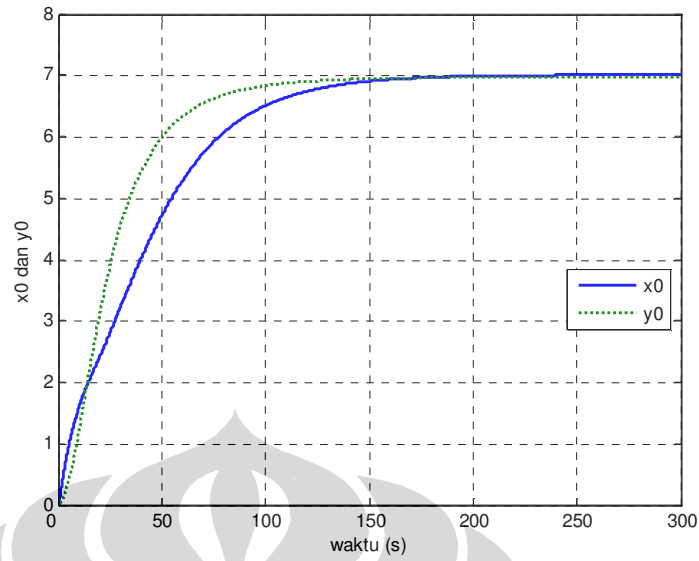
Gambar 4.19 Hasil simulasi pengendali PDC pada model nonlinear untuk posisi target (8,2)



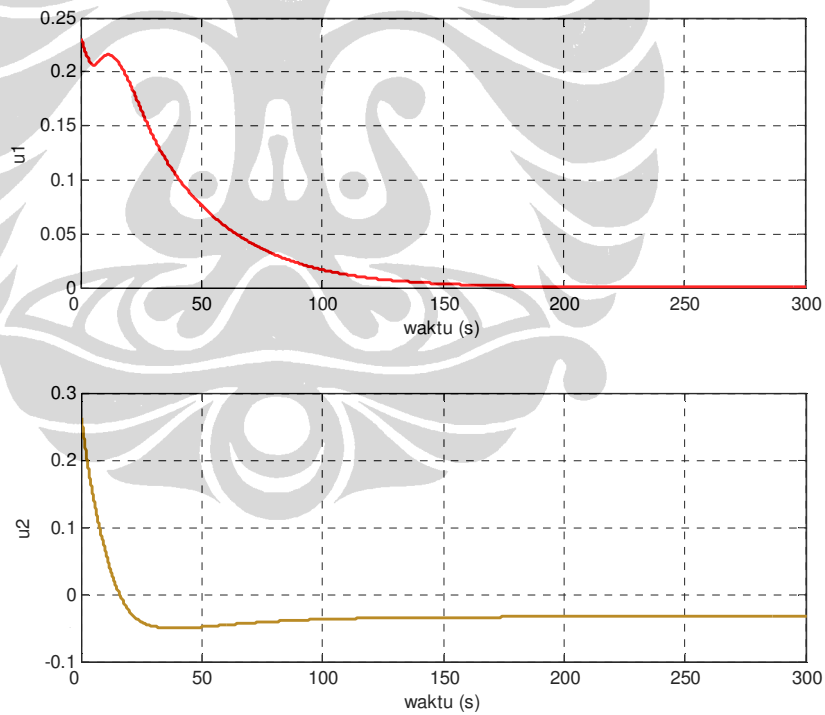
Gambar 4.20 Input kendali simulasi pada model nonlinear untuk target (8,2)

Simulasi dengan metode disain *initial state independent* memberikan hasil yang lebih baik. Pemberian target pada posisi (8,2) dapat dicapai oleh truk dalam waktu yang relatif sama dengan pada model fuzzy, walaupun pada output y_{p0} truk tidak mencapai target dengan tepat. Terlihat pula bahwa input pengendali khususnya untuk u_2 memenuhi batasan yang diinginkan.

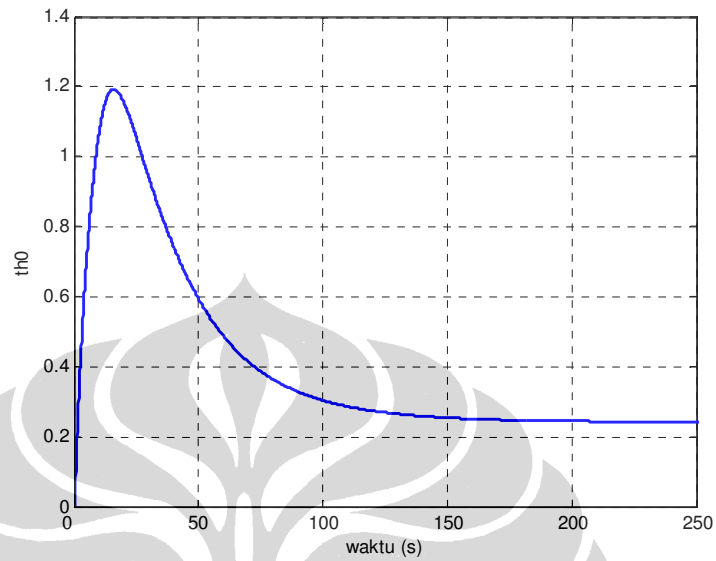
Dengan mengubah target posisi menjadi (7,7) terlihat bahwa hasil pencapaian menjadi lebih baik seperti terlihat pada gambar 4.21.



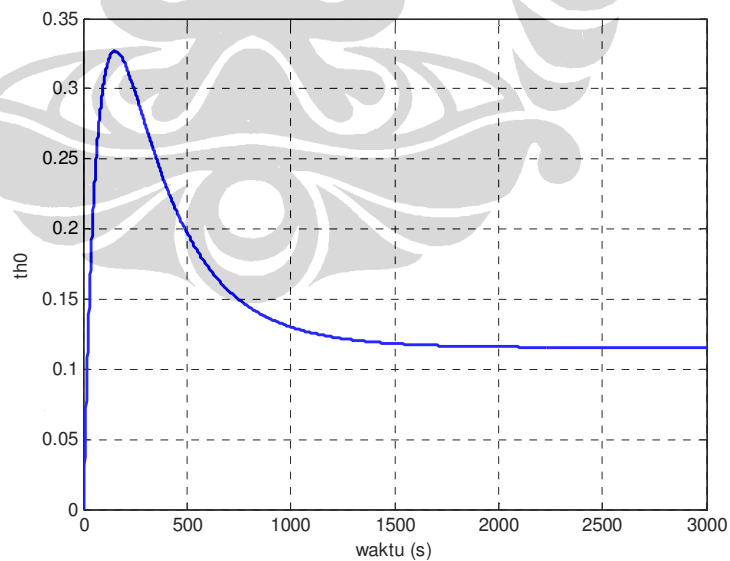
Gambar 4.21 Hasil simulasi pengendali PDC pada model nonlinear untuk posisi target (7,7)



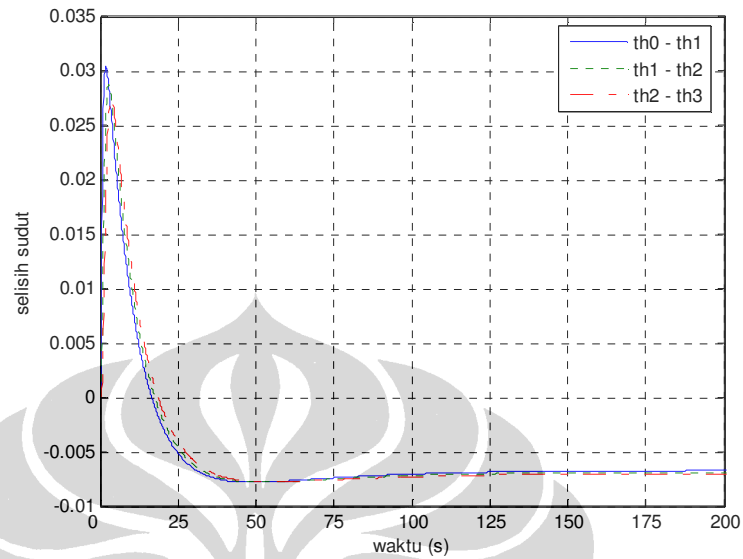
Gambar 4.22 Input kendali simulasi pada model nonlinear untuk target (7,7)



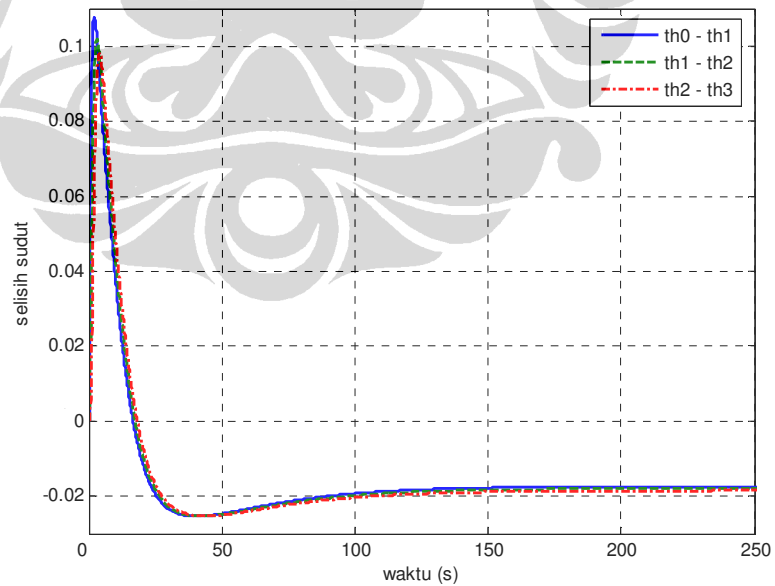
Gambar 4.23 Keluaran sudut truk terhadap sumbu-x pada simulasi model nonlinear dengan target (8,2)



Gambar 4.24 Keluaran sudut truk terhadap sumbu-x pada simulasi model nonlinear dengan target (7,7)



Gambar 4.25 Selisih sudut relatif truk-trailer untuk simulasi pada model nonlinear dengan target (8,2)



Gambar 4.26 Selisih sudut relatif truk-trailer untuk simulasi pada model nonlinear dengan target (7,7)

Sebagaimana halnya pada simulasi dengan model fuzzy, perubahan selisih sudut relatif seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.25 dan 4.26 untuk target masing-masing (7,7) dan (8,2) memperlihatkan bahwa *constraint* untuk output dipenuhi yakni tidak mencapai $\pm 90^\circ$. Garis biru kontinu pada grafik menunjukkan selisih sudut relatif antara truk dan trailer pertama. Garis hijau *dot* menunjukkan selisih sudut antara trailer 1 dan trailer 2, sementara garis merah *dash dot* menunjukkan selisih sudut antara trailer 2 dan trailer 3. Besar selisih sudut maksimum dicapai oleh truk dan trailer pertama, dalam hal ini adalah sekitar 0.11 radian atau sekitar 6.3° . Posisi sudut truk terhadap sumbu-*x* yang ditunjukkan pada gambar 4.23 dan 4.24 memperlihatkan perubahan yang teratur dan tidak terlalu besar.

