

BAB 4

ANALISA HASIL SIMULASI

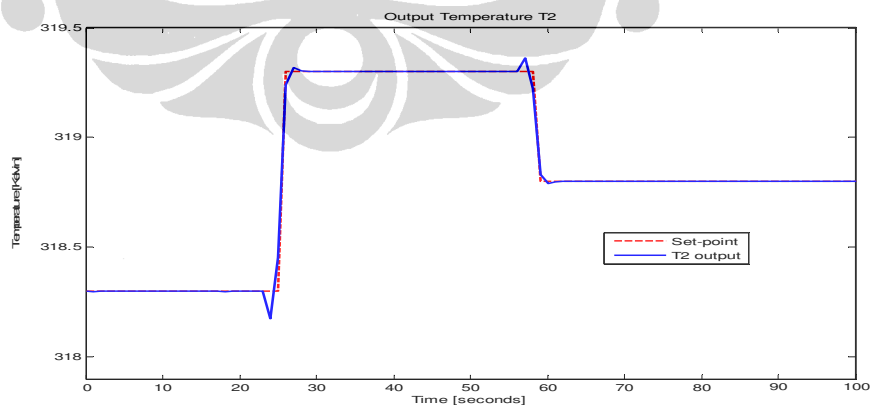
Bab ini membahas analisa dari uji simulasi pengendalian *Heat Exchanger* jenis *Shell and Tube Counter-Current Flow* menggunakan metode *Model Predictive Control* tanpa *constraints* dan dengan *Constraints*. Uji simulasi dilakukan dengan memakai bantuan salah satu *toolbox* pada MATLAB 7.6.

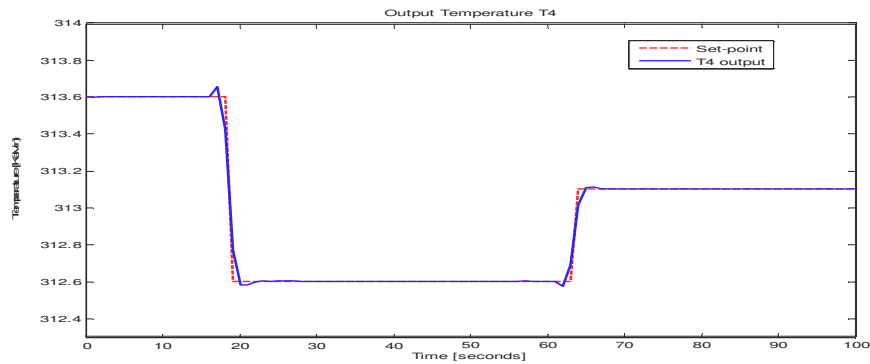
Tujuan dari uji coba dan analisa adalah untuk mengetahui kinerja dari pengendali MPC tanpa *constraints* dan dengan *constraints* dengan parameter penalaan yang berbeda-beda. Untuk semua tahapan pengujian yang dilakukan, model dari sistem *Heat Exchanger* diberikan sinyal acuan (*trajectory*) yang berubah pada waktu pencuplikan tertentu. Dengan uji ini, keterbatasan dan keandalan dari pengendali yang dirancang dapat diketahui.

Untuk mengetahui pengaruh variasi nilai *prediction horizon* terhadap hasil pengendalian MPC tanpa *constraints* maupun dengan *constraints*, maka nilai *control horizon* (H_u) dibuat tetap yaitu sebesar 2.

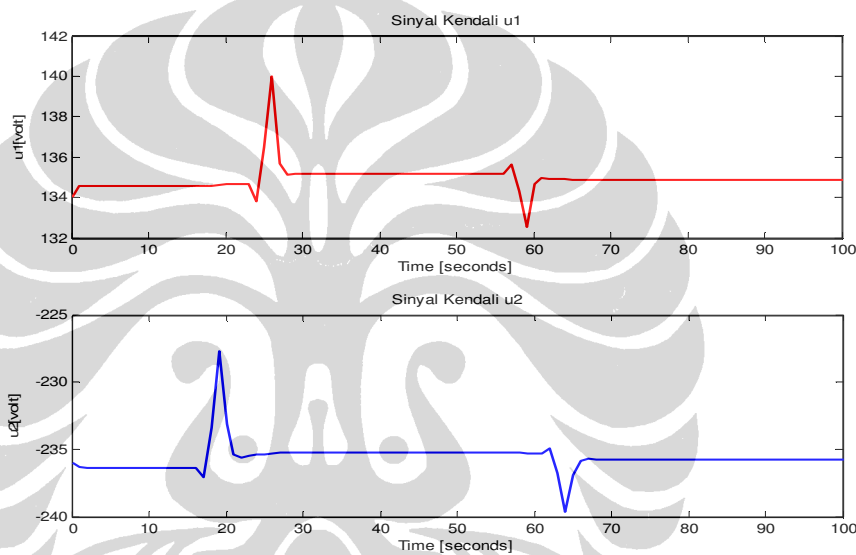
4.1 Pengujian MPC Tanpa *Constraints*

Parameter pengendali yang digunakan adalah $H_p=3$, $H_u=2$, $Q=100$ $R=0,1$. gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan keluaran prediksi, gangguan serta sinyal kendali yang dihasilkan.





Gambar 4.1 Keluaran sistem dengan pengendali tanpa *constraints*



Gambar 4.2 Sinyal kendali pengendali MPC tanpa *constraints*

Dengan menggunakan pengendali MPC *unconstraints* (tanpa batasan), sinyal keluaran model dapat mengikuti perubahan sinyal acuan dan dapat mengatasi gangguan dengan cukup baik. Dengan nilai *control horizon* yang hampir sama dengan nilai *prediction horizon*, prediksi perubahan sinyal kendali menyesuaikan dengan nilai prediksi keluaran sehingga variasi perubahan sinyal kendali tidak terlalu besar. Namun sinyal kendali yang dihasilkan tidak sesuai dengan karakteristik fisik dari sistem *Heat Exchanger* yang sebenarnya, karena sinyal kendali sangat besar dan ada yang bernilai negatif. Untuk pengujian selanjutnya, rasio besaran amplitudo tegangan akan menjadi *constraints* pada sinyal kendali.

4.2 Pengujian MPC Dengan *Constraints*

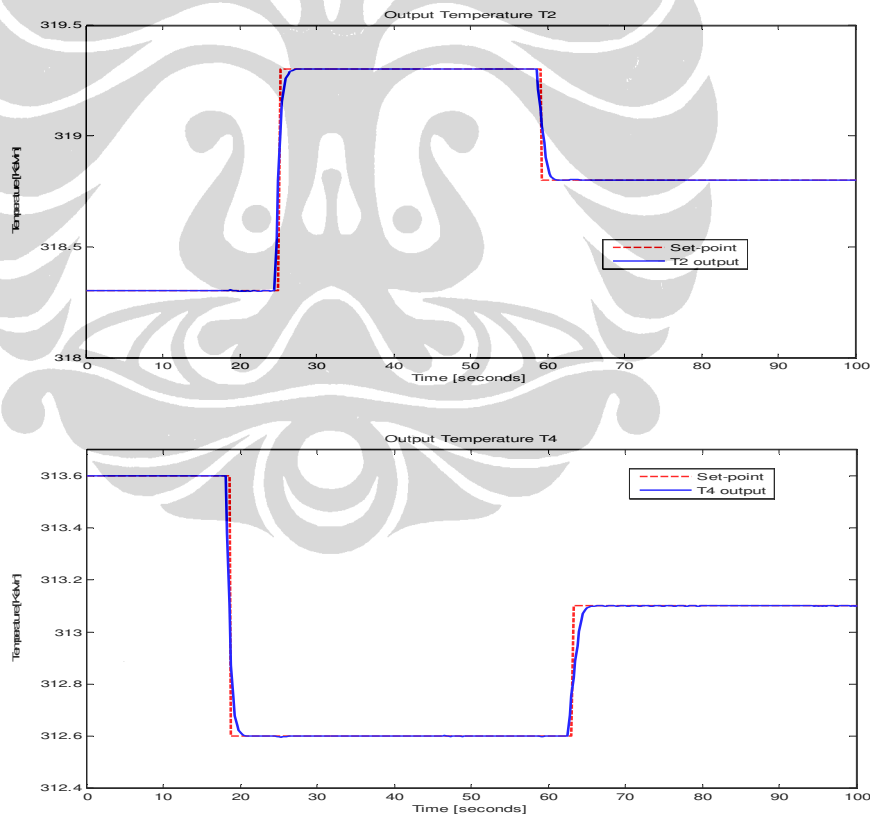
Berdasarkan karakteristik fisik dari sistem *Heat Exchanger*, sinyal masukan yang berupa tegangan u_{12} dan u_{34} harus bernilai positif dan dalam batas nilai tertentu. Demikian juga dengan perubahan tegangan pada tiap waktu juga harus dibatasi besaran maksimum dan minimumnya. *Constraints* yang digunakan untuk kebutuhan tersebut adalah:

$$-0.01 \leq \Delta u(k) \leq 0.01$$

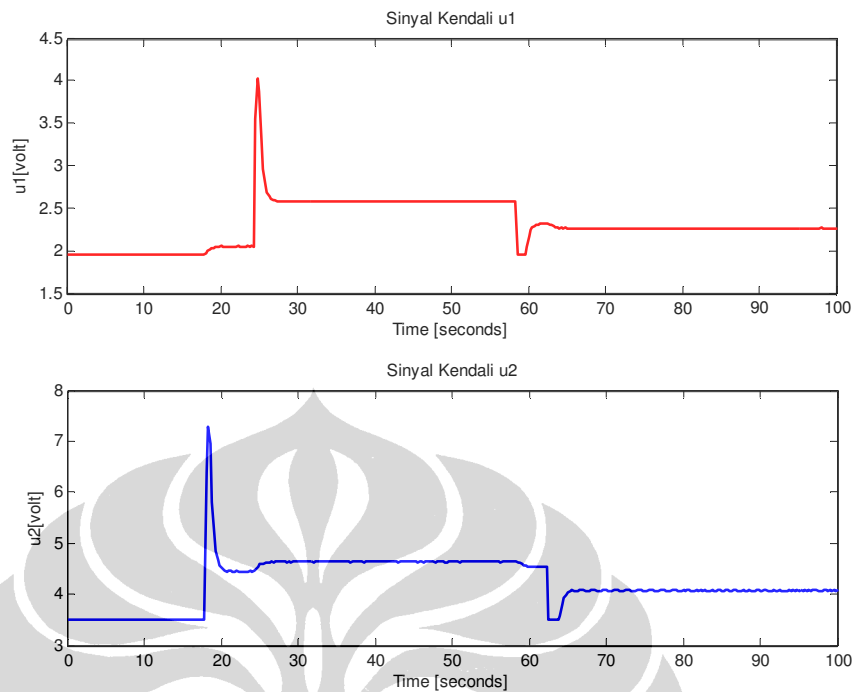
$$0 \leq u(k) \leq 5$$

4.2.1 Perbandingan Hasil Pengendali MPC *Constraints* Dengan Matriks sama dengan matriks *unconstraints* $H_p=3$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=100$

Untuk melihat pengaruh hasil pengendali MPC yang digunakan dalam pengendali *unconstraints* terhadap *constraints*, maka nilai matriks yang digunakan adalah sama yaitu: $H_p=3$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=100$.



Gambar 4.3 Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints*



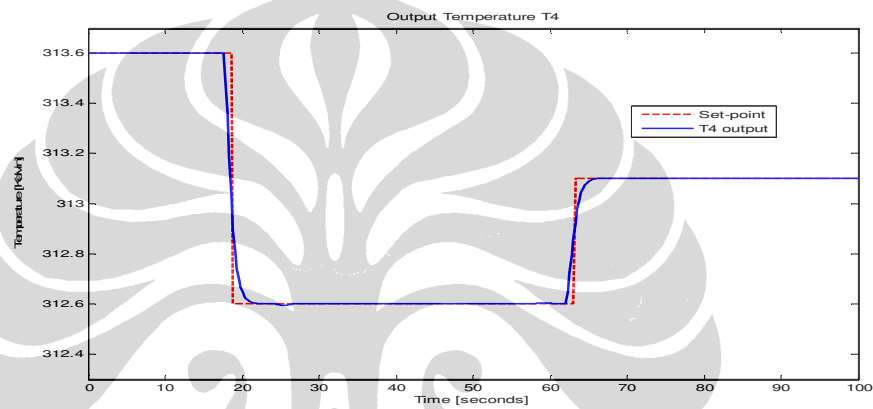
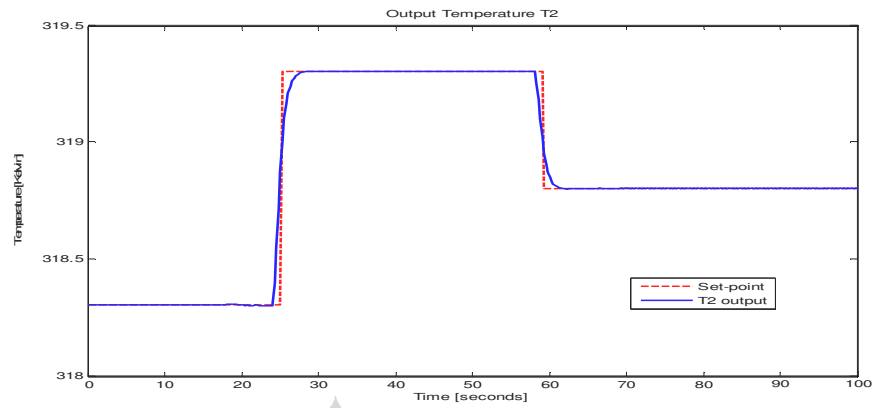
Gambar 4.4 Sinyal kendali pengendali MPC *constraints*

Dengan penambahan *constraints* (batasan) pada sinyal kendali, Sinyal keluaran model dapat mengikuti perubahan sinyal acuan (*trajectory*) dengan baik. Pada percobaan ini, nilai parameter yang digunakan $Q = 100$ dan $R = 0.1$ $H_p = 3$ dan $H_u = 2$ menghasilkan keluaran terprediksi yang halus. Namun masih ada satu sinyal kendali (u_2) yang dihasilkan bersifat *infeasible* yang tidak sesuai dengan karakteristik fisik (melebihi batas amplitudo sebesar 5 volt) dari sistem *Heat Exchanger* yang sebenarnya. Sehingga nilai H_p harus diperbesar.

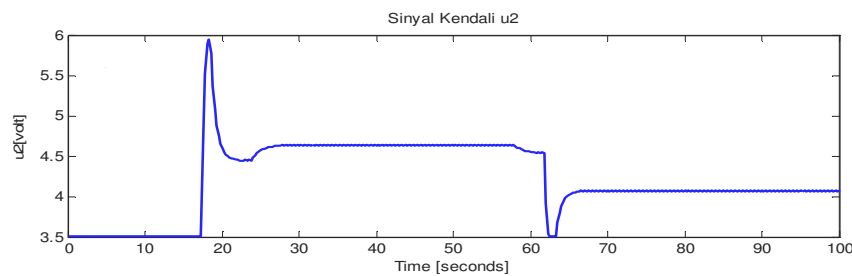
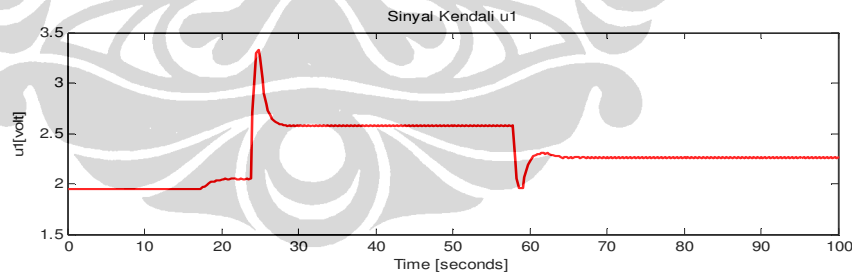
4.2.2 Perbandingan Hasil Pengendali MPC *Constraints* Dengan Matriks H_p yang Berubah-ubah

a. $H_p=5$, $H_u 2$, $R=0.1$ dan $Q=100$

Semakin besar selisih antara *prediction horizon* dan *control horizon*, maka kemampuan pengendali MPC untuk memprediksi keluaran sistem dan sinyal kendali yang akan dikirimkan ke sistem akan menurun karena sinkronisasi antara *prediction horizon* dengan nilai *control horizon* akan semakin sulit.



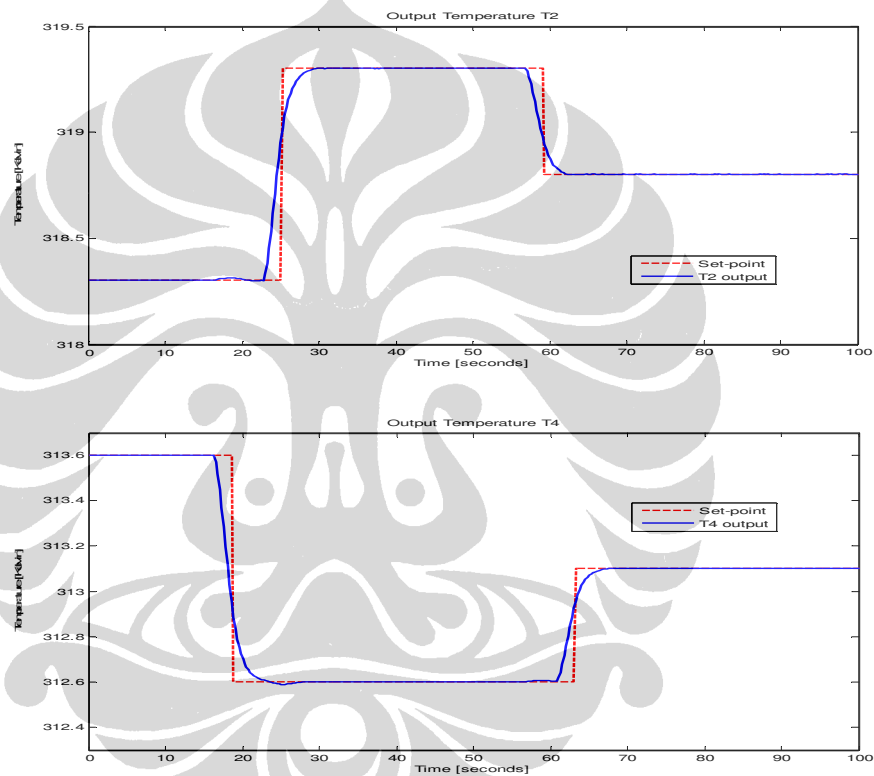
Gambar 4.5. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=5$, H_u 2, $R=0.1$ dan $Q=100$)



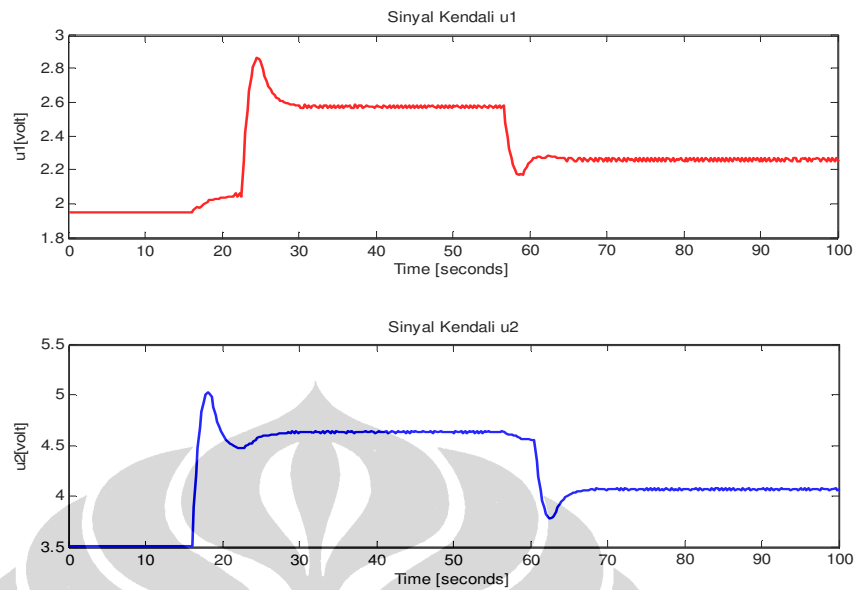
Gambar 4.6. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=5$, H_u 2, $R=0.1$ dan $Q=100$)

Jika nilai parameter yang digunakan adalah $H_p=5$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=100$ menghasilkan keluaran terprediksi yang sangat halus. Tetapi masih terdapat satu sinyal kendali (u_2) yang dihasilkan bersifat *infeasible* yang tidak sesuai dengan karakteristik fisik, maka nilai H_p harus diperbesar lagi.

b. $H_p=10$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=100$



Gambar 4.7. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=100$)

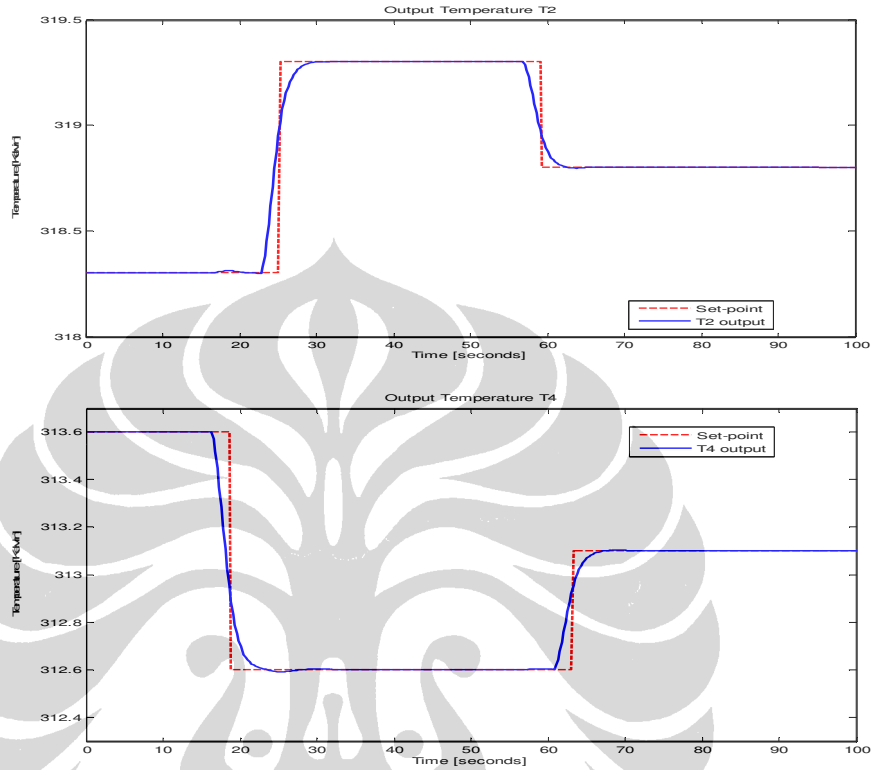


Gambar 4.8. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, H_u 2, $R=0.1$ dan $Q=100$)

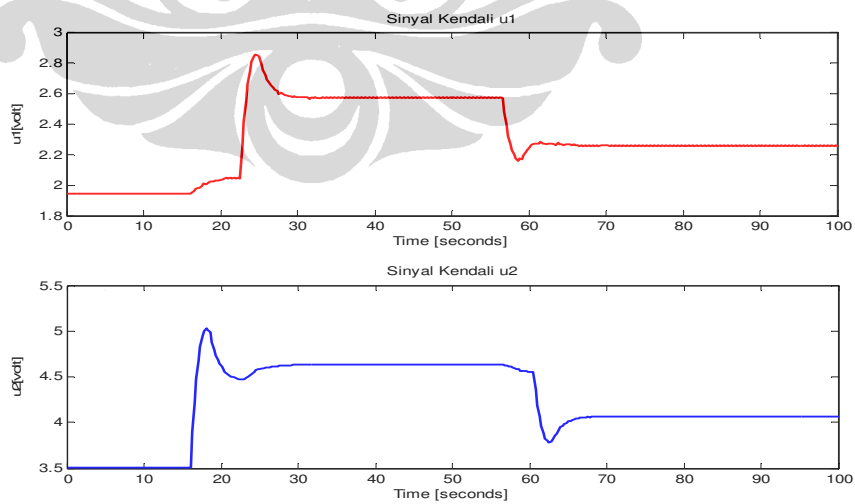
Berdasarkan gambar 4.8 dan 4.9 dapat dilihat bahwa hasil uji simulasi pengendalian sistem dengan *prediction horizon* sebesar 10 lebih baik bila dibandingkan dengan hasil uji simulasi pengendalian sistem dengan *prediction horizon* sebesar 5 maupun H_p sebesar 3. Dengan nilai *control horizon* yang menjauhi dengan nilai *prediction horizon* ini, keluaran prediksi memang agak menjauh dari sinyal acuan, tetapi sinyal keluaran prediksi masih mengikuti sinyal acuannya dan sinyal kendali yang dihasilkan dapat memenuhi batasan yang diberikan. Untuk simulasi selanjutnya nilai H_p yang digunakan adalah 10.

4.2.3 Perbandingan Hasil Pengendali MPC Constraint Dengan Matriks Bobot R yang Berubah-ubah

a. $H_p=10$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=1$



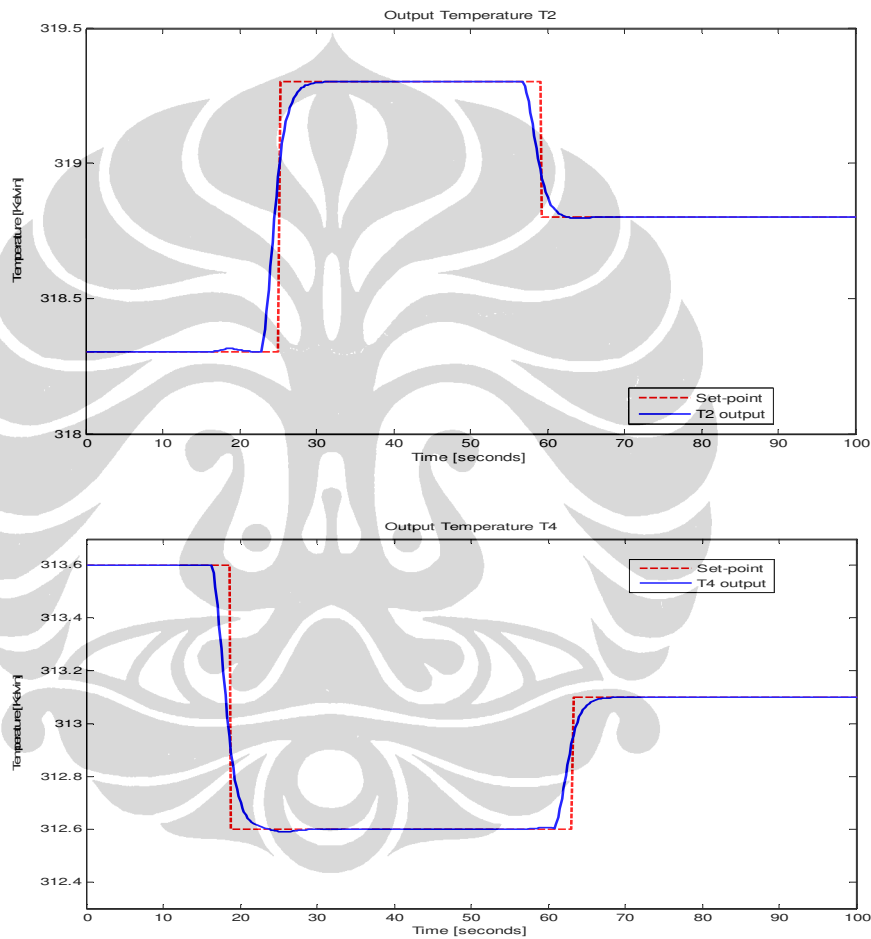
Gambar 4.9. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=1$)



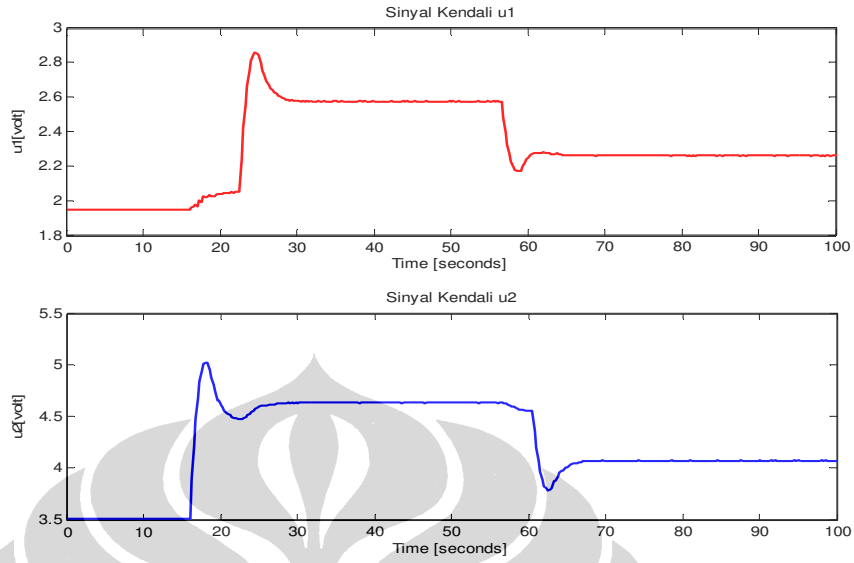
Gambar 4.10. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=0.1$ dan $Q=1$)

Dari gambar diatas terlihat sinyal kendali yang sangat halus. Karena rentang antara matriks R dan Q yang sangat kecil menghasilkan sinyal kendali yang sangat halus. Keluaran prediksi pun dapat mengikuti sinyal acuan yang diberikan.

b. $H_p=10$, $H_u=2$, $R=1$ dan $Q=1$



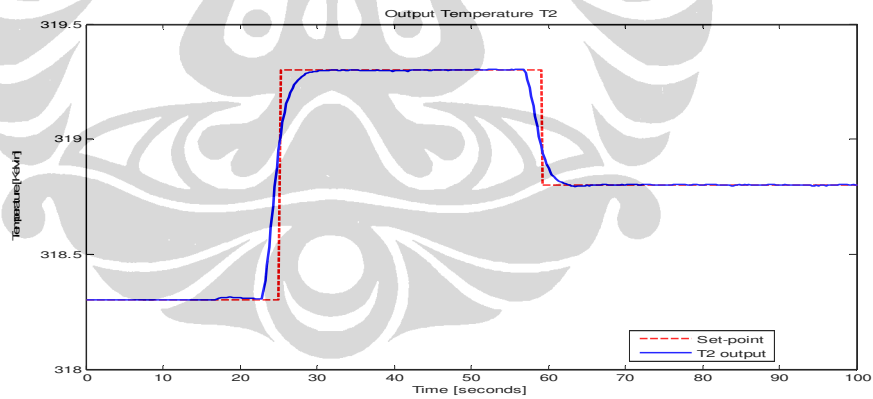
Gambar 4.11. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=1$ dan $Q=1$)

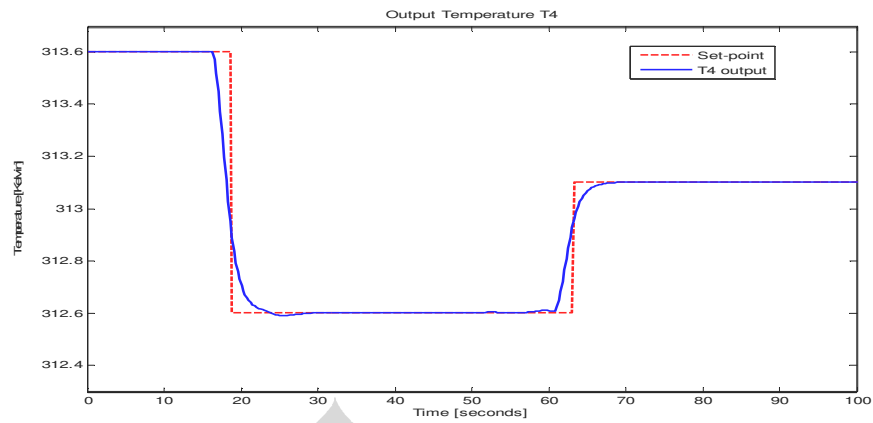


Gambar 4.12. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, H_u 2, $R=1$ dan $Q=1$)

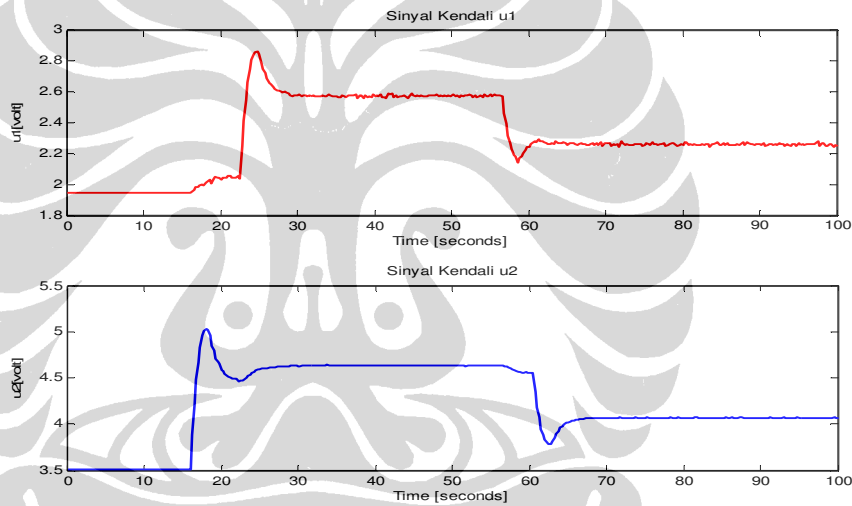
Jika nilai matrik bobot sinyal yang digunakan $Q=1$ dan $R=1$ menghasilkan keluaran terprediksi yang lebih halus, sinyal kendali juga semakin halus.

c. $H_p=10$, H_u 2, $R=10$ dan $Q=1$





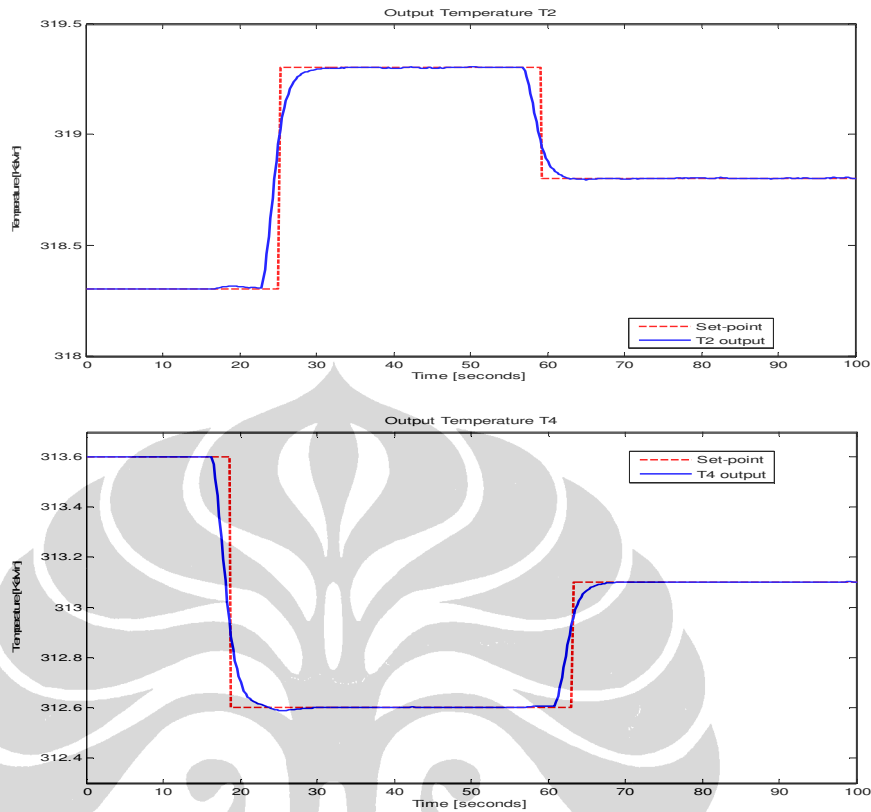
Gambar 4.13. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=10$ dan $Q=1$)



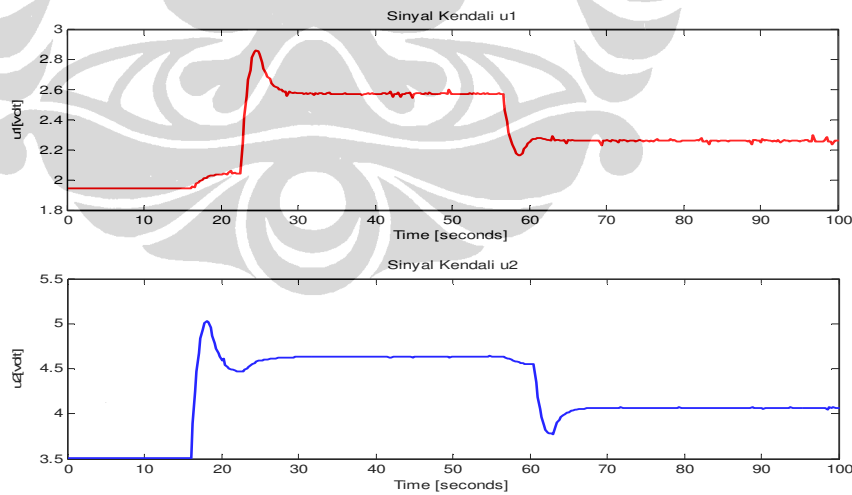
Gambar 4.14. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=10$ dan $Q=1$)

Jika nilai matrik bobot sinyal $Q=1$ dan $R=10$, sinyal kendali menjadi tidak halus lagi. Hal ini menyebabkan keluaran prediksi yang dihasilkan sangat sensitif terhadap perubahan sinyal acuan yang terjadi.

d. $H_p=10$, $H_u=2$, $R=100$ dan $Q=1$



Gambar 4.15. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=100$ dan $Q=1$)



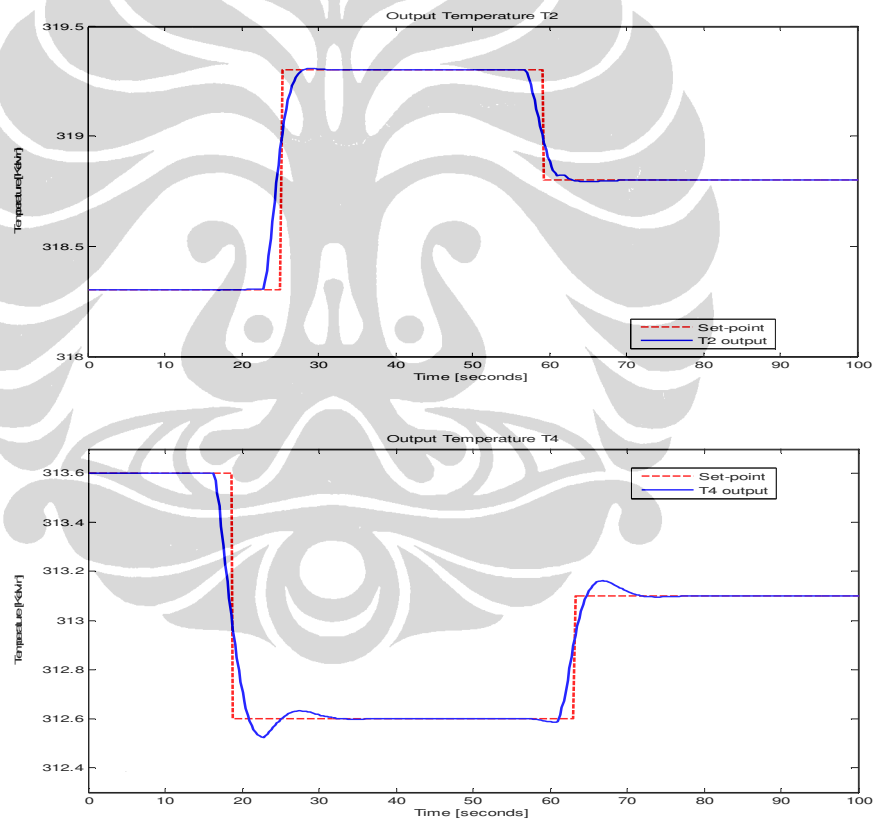
Gambar 4.16. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=100$ dan $Q=1$)

Dari pengujian yang dilakukan, terlihat bahwa meskipun dengan merubah nilai matrik R , keluaran prediksi tetap dapat mengikuti sinyal acuan yang

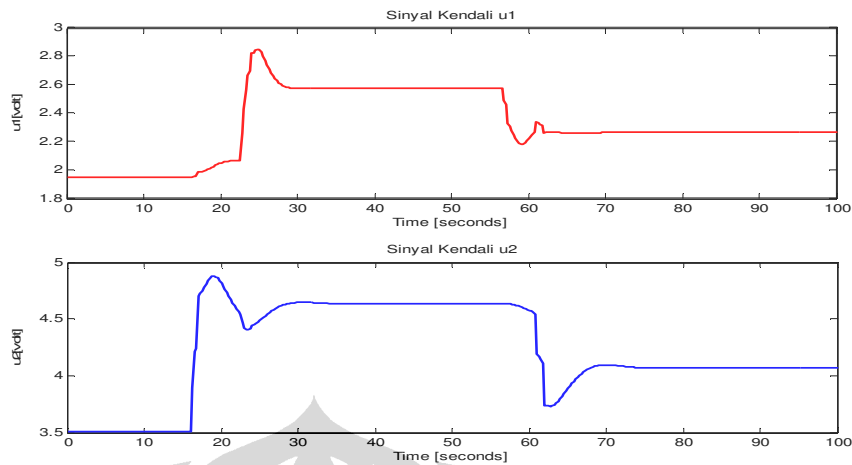
diberikan, dan keluaran prediksi juga dengan mudah dapat kembali mengikuti sinyal acuan. Dengan semakin besar nilai R , maka nilai $\Delta u(k)$ semakin ditekan sehingga dihasilkan keluaran yang lebih halus. Namun rentang antara matriks R dan Q yang terlalu besar, menghasilkan sinyal kendali yang tidak baik. Sehingga keluaran sistem tidak sehalus keluaran dengan nilai matrik R yang lebih kecil. Untuk selanjutnya marik R yang digunakan adalah 1.

4.2.4 Perbandingan Hasil Pengendali MPC Constraint Dengan Matriks Bobot Q yang Berubah-ubah

a. $H_p=10$, $H_u=2$, $R=1$ dan $Q=0.1$



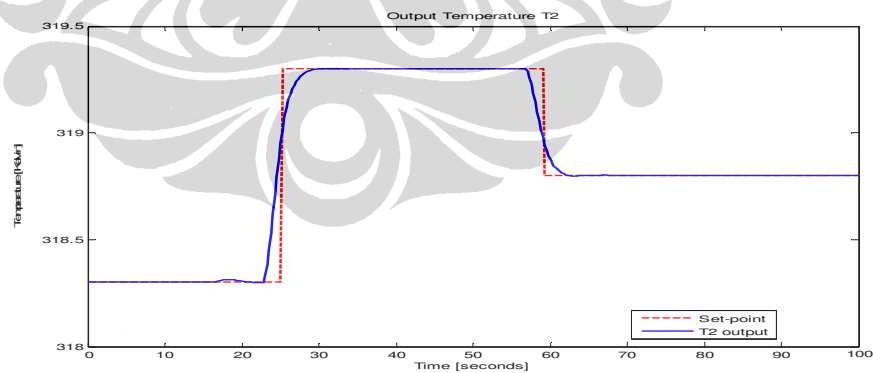
Gambar 4.17. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=1$ dan $Q=0.1$)

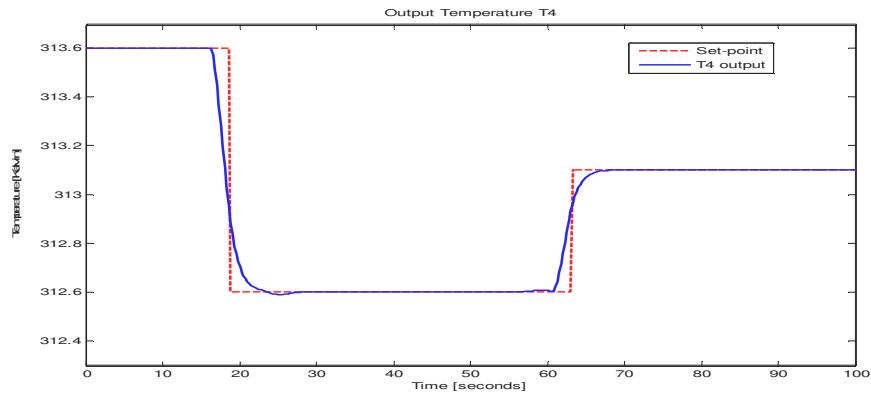


Gambar 4.18. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, H_u 2, $R=1$ dan $Q=0.1$)

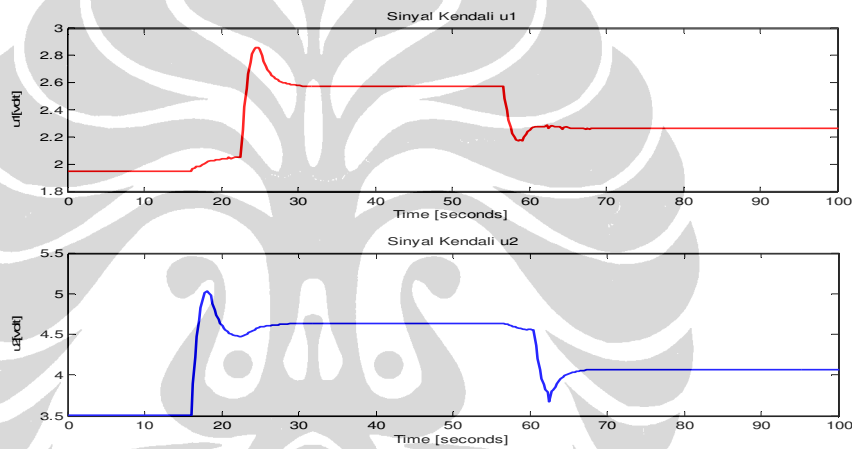
Untuk analisa terhadap pengaruh perubahan matriks bobot kesalahan Q , pengujian dilakukan dari $Q=0.1$ dan R tetap sebesar 1. Pada uji ini, sinyal kendali yang dihasilkan sangat halus, namun sinyal keluaran sangat sensitif terhadap pengaruh perubahan sinyal acuan. Dalam hal ini, dapat dikatakan bahwa error yang terjadi tidak dapat diatasi dengan lebih cepat oleh pengendali karena bobot kesalahannya diperkecil.

b. $H_p=10$, H_u 2, $R=1$ dan $Q=10$





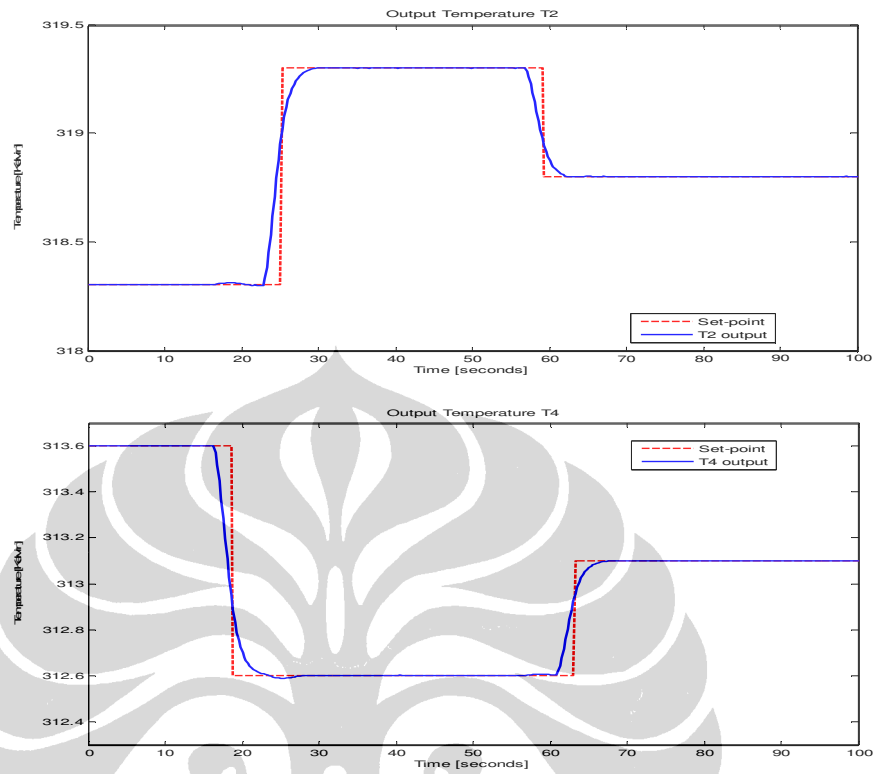
Gambar 4.19. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, H_u 2, $R=1$ dan $Q=10$)



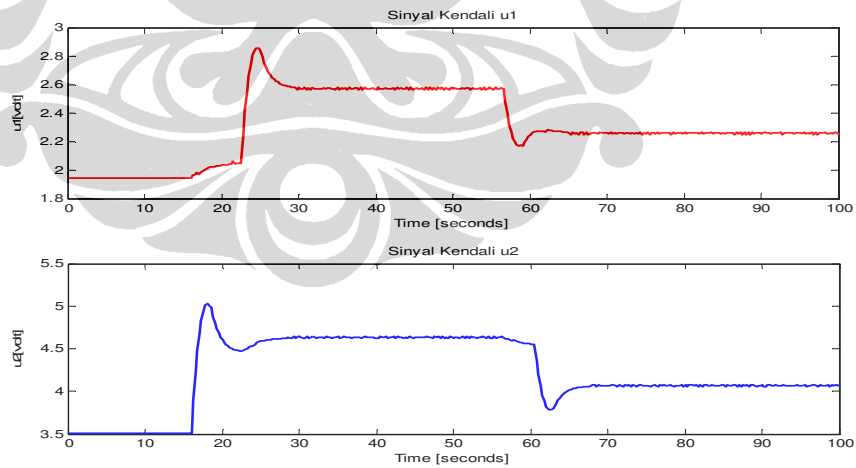
Gambar 4.20. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, H_u 2, $R=1$ dan $Q=10$)

Dengan memperbesar matrik Q menjadi 10, keluaran yang dihasilkan sangat halus dan keluaran prediksi mampu mengikuti perubahan sinyal acuan dengan sangat baik.

c. $H_p=10$, $H_u=2$, $R=1$ dan $Q=100$



Gambar 4.21. Keluaran sistem dengan pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=1$ dan $Q=100$)



Gambar 4.22. Sinyal kendali pengendali MPC *constraints* ($H_p=10$, $H_u=2$, $R=1$ dan $Q=100$)

Dengan merubah besar nilai matrik Q dari nilai kecil hingga besar, terlihat bahwa untuk sistem *Heat Exchanger*, untuk nilai paling besar $Q=100$, sinyal kendali semakin bebas dan tidak ditekan.

Dari keseluruhan hasil percobaan, terlihat bahwa hasil pengendalian yang terbaik adalah dengan menggunakan matriks bobot kesalahan $Q=10$ dan matriks bobot sinyal kendali $R=1$ untuk panjang *prediction horizon* sebesar 10 dan *control horizon* sebesar 2 seperti pada gambar (4.20 dan 4.21), dimana perubahan sinyal kendali halus dan keluaran prediksi paling mendekati sinyal acuan.

