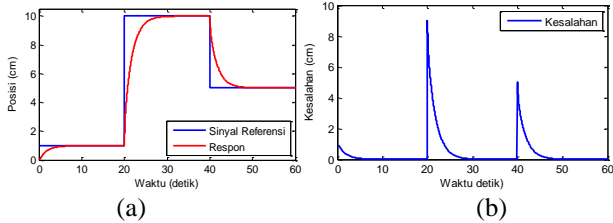


yang berubah-ubah pada selang waktu tertentu. Besar sinyal referensi yang digunakan yaitu 1, 5, dan 10.

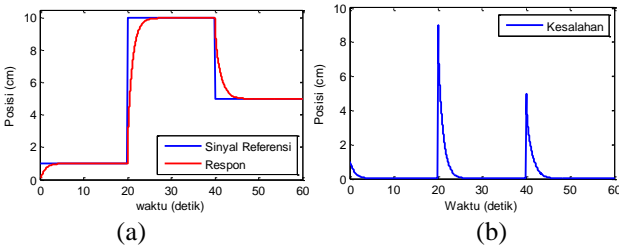
Pengujian pertama dilakukan terhadap sistem dengan menggunakan kontroler PD. Berdasarkan Gambar 9a terlihat bahwa respon sistem yang menggunakan kontroler PD dapat beradaptasi dengan perubahan sinyal referensi yang diberikan, namun waktu untuk mencapai keadaan waktu tunak melambat untuk masukan yang besar.



Gambar 9. a) Respon sistem terhadap perubahan sinyal referensi dengan kontroler PD; b) Grafik kesalahan sistem dengan menggunakan kontroler PD

Kemampuan kontroler PD dalam menghadapi perubahan sinyal referensi juga dapat dilihat pada Gambar 9b yang menunjukkan kesalahan yang terjadi pada sistem. Gambar 9b menunjukkan kesalahan sistem akan meningkat ketika perubahan sinyal referensi diberikan, namun nilai kesalahan akan segera mengecil beberapa saat kemudian.

Pengujian kedua dilakukan terhadap sistem dengan kontroler *Fuzzy*-PD. Berdasarkan Gambar 10a terlihat bahwa respon sistem yang menggunakan kontroler *fuzzy*-PD dapat beradaptasi dengan perubahan sinyal referensi yang diberikan.



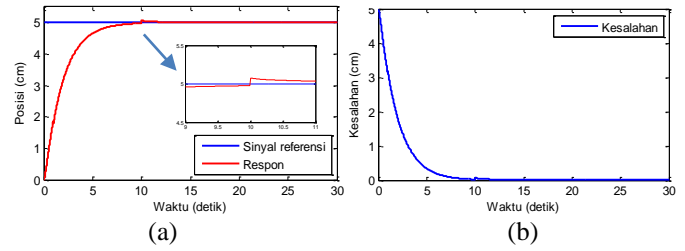
Gambar 10. a) Respon sistem terhadap perubahan sinyal referensi dengan kontroler *Fuzzy*-PD; b) Grafik Kesalahan sistem dengan kontroler *Fuzzy*-PD

Gambar 10b menunjukkan kesalahan sistem dengan kontroler *Fuzzy*-PD akan meningkat ketika perubahan sinyal referensi diberikan, namun nilai kesalahan akan segera mengecil beberapa saat kemudian.

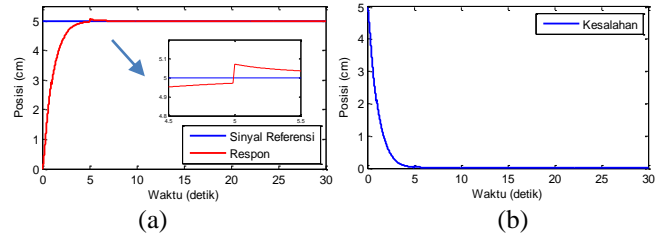
Berdasarkan pengujian terhadap kontroler PD dan *Fuzzy*-PD didapatkan nilai RMSE untuk sistem dengan kontroler PD sebesar 1,3656 dan sistem dengan kontroler *Fuzzy*-PD sebesar 0,9247. Nilai RMSE tersebut menunjukkan bahwa kontroler *Fuzzy*-PD memiliki kemampuan lebih baik dalam menerima perubahan sinyal referensi.

C. Pengujian dengan pemberian Beban

Pengujian dengan memberikan beban bertujuan untuk menggambarkan kondisi mesin CNC saat melakukan proses



Gambar 11. a) Respon sistem menggunakan kontroler PD terhadap penambahan beban sebesar 0,1; b) Grafik kesalahan sistem menggunakan kontroler PD terhadap penambahan beban sebesar 0,1



Gambar 12. a) Respon sistem menggunakan kontroler *Fuzzy*-PD terhadap penambahan beban sebesar 0,1; b) Grafik kesalahan sistem menggunakan kontroler *Fuzzy*-PD terhadap penambahan beban sebesar 0,1

pemakanan yang mendapatkan pembebanan dari benda kerja. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban senilai 0,1, 0,3, dan 0,5 pada selang waktu tertentu. Selang waktu tersebut disesuaikan dengan *rise time* masing-masing sistem.

Pengujian pertamakali dilakukan terhadap sistem dengan kontroler PD. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 11a. Sedangkan grafik kesalahan sistem ditunjukkan pada Gambar 11b. Pemberian beban mempengaruhi sistem saat menuju sinyal referensi yang ditentukan. Pada detik satu, sistem mengalami perlambatan ketika beban pertamakali diberikan. Sedangkan pengurangan beban menyebabkan respon meningkat sehingga terjadi *overshoot*.

Pengujian kedua dilakukan terhadap sistem dengan menggunakan kontroler *Fuzzy*-PD. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 12a. Sedangkan grafik kesalahan sistem ditunjukkan pada Gambar 12b. Pemberian beban mempengaruhi sistem saat menuju sinyal referensi yang ditentukan. Pada detik satu, sistem mengalami perlambatan ketika beban pertamakali diberikan. Sedangkan pengurangan beban menyebabkan respon meningkat sehingga terjadi *overshoot*.

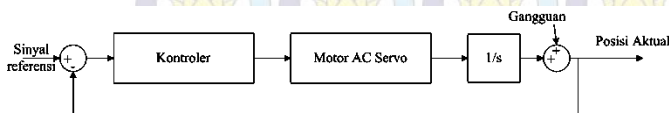
Tabel 2. Nilai RMSE untuk pengujian sistem dengan pemberian beban

Beban	RMSE	
	PD	<i>Fuzzy</i> -PD
0	0,9267	0,7531
0.1	0,9355	0,7583
0.3	0,9544	0,7696
0.5	0,9748	0,7824

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan nilai RMSE untuk masing-masing proses pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa peningkatan nilai RMSE sistem dengan kontroler Fuzzy-PD untuk masing-masing beban lebih kecil apabila dibandingkan dengan sistem dengan kontroler PD. Hal tersebut menunjukkan bahwa kontroler *Fuzzy-PD* memiliki kemampuan lebih baik untuk beradaptasi dengan nilai beban yang berubah-ubah.

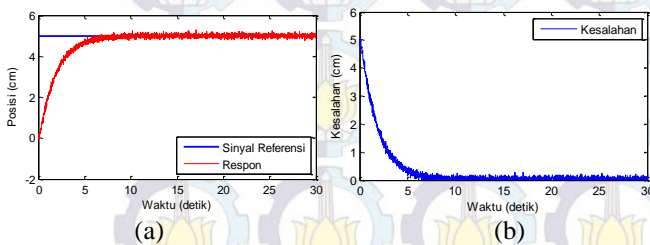
D. Pengujian dengan Gangguan

Pemberian gangguan bertujuan untuk menguji ketahanan dari sistem. Gangguan yang diberikan merupakan gangguan terukur berupa sinyal acak normal. Gangguan diberikan sebanyak tiga kali dengan nilai rata-rata adalah nol dan varian sebesar 0,005, 0,5, dan 5. Diagram blok sistem dengan gangguan dapat dilihat pada Gambar 13.

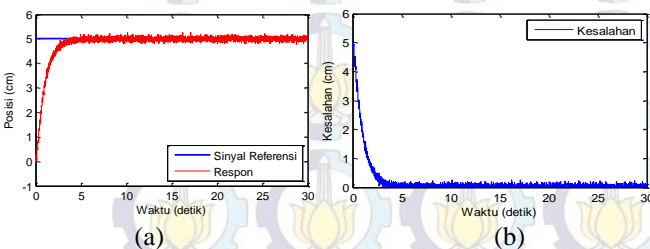


Gambar 13. Diagram blok sistem dengan gangguan

Pengujian yang pertama dilakukan terhadap sistem dengan kontroler PD. Respon sistem menggunakan gangguan pada Gambar 14a menunjukkan bahwa respon masih dapat menuju sinyal referensi yang diberikan. Terlihat bahwa gangguan tidak mempengaruhi kemampuan sistem dalam menuju sinyal referensi yang diberikan. Hal ini juga ditunjukkan oleh grafik kesalahan sistem pada Gambar 14b yang nilainya turun sehingga mendekati nol.



Gambar 14. a) Respon sistem menggunakan kontroler PD terhadap pemberian gangguan dengan rata-rata nol dan varian 0,005; b) Grafik kesalahan sistem menggunakan kontroler PD terhadap pemberian gangguan dengan rata-rata nol dan varian 0,005



Gambar 15. a) Respon sistem menggunakan kontroler *Fuzzy-PD* terhadap pemberian gangguan dengan rata-rata nol dan varian 0,005; b) Grafik kesalahan sistem menggunakan kontroler *Fuzzy-PD* terhadap pemberian gangguan dengan rata-rata nol dan varian 0,005

Pengujian kedua dilakukan terhadap sistem dengan kontroler Fuzzy-PD. Respon sistem dapat dilihat pada Gambar 15a. Respon sistem menggunakan gangguan menunjukkan bahwa respon masih dapat menuju sinyal referensi yang diberikan. Terlihat bahwa gangguan tidak mempengaruhi kemampuan sistem dalam menuju sinyal referensi yang diberikan. Hal ini juga ditunjukkan oleh grafik kesalahan sistem pada Gambar 15b yang nilainya turun sehingga mendekati nol.

Setelah dilakukan pengujian untuk setiap varian, didapatkan nilai RMSE untuk masing-masing proses pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat bahwa nilai RMSE sistem dengan kontroler Fuzzy-PD untuk masing-masing varian gangguan lebih kecil apabila dibandingkan dengan sistem dengan kontroler PD. Hal tersebut menunjukkan bahwa kontroler *Fuzzy-PD* memiliki ketahanan yang baik terhadap gangguan.

Tabel 3. Nilai RMSE untuk pengujian sistem dengan gangguan

Varian	RMSE	
	PD	Fuzzy-PD
0	0.9267	0,7531
0.005	0.9621	0,7657
0.5	1.1476	1,0330
5	2.4216	2,3787

V. KESIMPULAN

Sistem dengan kontroler *Fuzzy-PD* mampu mencapai posisi yang diinginkan pada waktu 3,59 detik, hal ini lebih baik daripada kontroler PD ataupun sistem tanpa menggunakan kontroler.

Hasil simulasi dengan gangguan menunjukkan bahwa kontroler *Fuzzy-PD* memiliki ketahanan yang baik terhadap gangguan dengan nilai RMSE sebesar 0,7657.

Hasil simulasi dengan beban menunjukkan bahwa kontroler *Fuzzy-PD* memiliki ketahanan yang baik terhadap beban dengan nilai RMSE meningkat 0,69% dari nilai RMSE tanpa beban, hal ini lebih kecil daripada sistem dengan kontroler PD yang peningkatan nilai RMSE-nya sebesar 0,95%.

Penentuan aturan dasar kontroler *Fuzzy* sangat berpengaruh terhadap respon dari sistem. Pemilihan aturan dasar yang baik akan meningkatkan performansi sistem, sedangkan pemilihan aturan dasar yang salah dapat mengurangi performansi dari sistem bahkan dapat membuat sistem tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Guoyong Zhao, Yugang Zhao, Lili Zhang, and Amei Dong, "Research on Nonlinear PID Position Controller of CNC System", Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 2446-2450, 2007

[2] Madan Gopal, *Models of Industrial Control Devices and Systems*, volume 14 Lecture of Control Engineering,

Department of Electrical Engineering, Indian Institute of Technology, Delhi

- [3] M. Vijayakarhick and P.K. Bhaba, *Position Tracking Performance Of Ac Servomotor Based*, Ijrras 10(1),pp. 119-128, 2012

