

Rancang Bangun Kontrol Logika *Fuzzy-PID* pada *Plant* Pengendalian pH (Studi Kasus: Konsentrasi Asam Lemah dan Basa Kuat)

Fista Rachma Danianta dan Hendra Cordova

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. AriefRahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: hcordova@ep.its.ac.id

Abstrak—Telah dilakukan perancangan *plant* pengendalian pH asam lemah dengan basa kuat dengan menggunakan metode Kontrol Logika *Fuzzy-PID* dengan *Feedback* secara *real plant*. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen yaitu sensor pH, pH meter, *transmitter*, mikrokontroler, *driver motor*, pompa dc sebagai aktuator, *power supply*, dan komputer. Kontrol Logika *fuzzy-PID* berhasil diterapkan pada *plant* untuk men-*schedule gain* proporsional, integral dan derivatif yang berorientasi pada performa sistem dengan menggunakan nilai error dan perubahan error sebagai *input*. Sinyal kontrolnya berupa PWM (*Pulse Width Modulation*) yang beraksi merubah RPM (*Rotate Per Minute*) pada pompa larutan basa, sedang RPM pompa larutan asam dijaga konstan. Selain itu, hasil rancang bangun menunjukkan bahwa sistem merespon dengan cara memberi *gain-gain* pengendali yang sesuai dengan basis aturan (*rule base*) yang dibuat dengan tujuan memberi respon yang sesuai untuk reaktor guna memperkecil error. Reaktan yang digunakan adalah NaOH sebagai zat basa pelarut dan CH₃COOH sebagai zat asam yang terlarut.

Kata Kunci— asam, basa, *fuzzy-PID*, kontrol.

I. PENDAHULUAN

Dalam industri proses, pengendalian variabel proses sangat penting dilakukan demi keberlangsungan proses produksi. Salah satu variabel proses yang penting dalam proses produksi adalah derajat keasamaan atau pH.

Untuk memperoleh suatu larutan dengan keasamaan (pH) tertentu, diperlukan pencampuran antara larutan asam dengan basa dengan porsi tertentu. Pencampuran antara asam dan basa ini disebut titrasi. Kurva titrasi ini memiliki bentuk yang khas yaitu bentuk kurva “s”. Ditinjau dari bentuk kurvanya, hal ini menunjukkan bahwa proses pengendalian pH adalah salah satu proses pengendalian yang non-linier. Hal tersebut diakibatkan dengan adanya sedikit perubahan konsentrasi ion [H⁺] dapat merubah nilai pH dengan cukup signifikan, dalam hal ini pada saat menuju titik ekuivalen pada kurva tersebut, penambahan sedikit saja pada variabel manipulasi, dapat mengubah luaran pH secara drastis.

Pada tahun 2004, Hendra C melakukan perancangan *auto switch* PID untuk proses netralisasi pH padatan CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) [1]. Penelitian tugas akhir Syahrizal Ismail, 2011, melakukan perancangan *auto switch* PID yang juga menggunakan dasar pengendali PID konvensional yang menawarkan sebuah penyelesaian pada

proses nonlinier [1]. Hal tersebut dapat dilihat pada mekanisme dari *auto switch* PID tersebut yang bekerja sebagai selektor. Selektor tersebut bekerja berdasarkan pembagian daerah *setpoint*, yang telah ditetapkan sebelumnya dari kurva s titrasi asam dan basa. Pada masing-masing pembagian daerah *setpoint* tersebut, selanjutnya dilakukan penalaan sehingga didapatkan parameter kendali untuk masing-masing daerah *setpoint* pH secara real time. Pada dua penelitian pertama tersebut menggunakan larutan asam kuat HCL dan basa kuat NaOH, serta telah berhasil ditunjukkan bagaimana *auto switch* PID mampu mengatasi proses pengendalian pH dibandingkan dengan menggunakan pengendali PID biasa tanpa pembagian daerah *setpoint* Namun, kedua penelitian tersebut masih menggunakan konsep PID yang kita ketahui hanya baik jika digunakan pada proses yang linier.

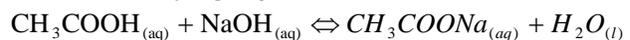
Penelitian tugas akhir Jan Ricardom G. P, 2012, melakukan perancangan pengendalian pH yang bertujuan untuk mengatur harga pH agar berada pada nilai yang diinginkan [3]. Besar nilai pH diperoleh dari proses titrasi antara asam dan basa. Bentuk kurva titrasi antara asam dengan basa memiliki bentuk yang khas yaitu bentuk kurva s. Bentuk kurva tersebut menyebabkan proses pengendalian pH merupakan salah satu pengendalian proses nonlinier. Hal tersebut diakibatkan dengan adanya sedikit perubahan konsentrasi ion [H⁺] dapat merubah nilai pH dengan cukup signifikan, dalam hal ini pada saat menuju titik ekuivalen pada kurva tersebut, penambahan sedikit saja pada variabel manipulasi, dapat mengubah luaran pH secara drastis. Salah satu solusi dalam penyelesaian pengendalian nonlinier tersebut menggunakan metode logika *fuzzy*.

I. PLANT PENGENDALIAN pH

Dalam menentukan derajat keasamaan, digunakan notasi pH. pH normal memiliki nilai 7 sementara nilai pH lebih dari 7 zat tersebut dikategorikan basa sedang nilai pH kurang dari 7 dikategorikan asam. Range pH adalah 1-14. 1 untuk nilai pH rendah dan 14 untuk pH tinggi.

Pada paper ini, penelitian yang dilakukan menggunakan asam lemah CH₃COOH dan basa kuat NaOH.

Dimana reaksi yang terjadi adalah:



Dimana dicari kesetimbangan dari kedua larutan tersebut dengan mencari molaritas masing-masing terlebih dahulu.

$$M_{asam/basa} = \frac{persenkadarasam/basa \times \rho_{asam/basa}}{M_{rasam/basa}}$$

Setelah itu digunakan persamaan kesetimbangan masa.

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \tag{1}$$

Sehingga didapatkan perbandingan volume kedua larutan. Diketahui *flowrate* dari pompa asam adalah 0,11L/min dan pompa basa adalah 0-0,165 L/min, dengan molaritas masing-masing larutan sebesar 0,1M.

Sedangkan nilai pH didapat dari persamaan

$$pOH = -\log[OH^-], \text{ dan} \tag{2}$$

$$pH = -\log[H^+] \tag{3}$$

Untuk itu, konsentrasi ion bebas dari asam dan basa sangat mempengaruhi pH suatu larutan. Setelah terjadi reaksi, maka hasil akhir bisa berupa larutan dengan pH kurang dari 7, 7 atau lebih dari 7, tergantung pada banyaknya ion yang bebas. Dalam paper ini, sensor pH digunakan sebagai pembaca derajat keasamaan larutan.

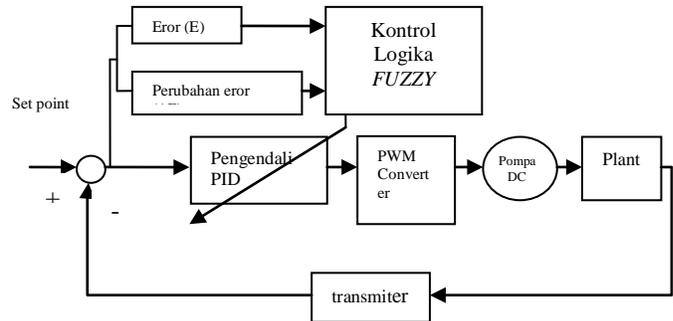
Reaktor pemrosesan terdiri atas beberapa komponen yaitu sensor pH, pompa DC, transmitter, mikrokontroler, motor driver, power supply dan komputer yang terintegrasi dalam sebuah sistem pengendalian. Sensor menangkap besaran fisis yaitu pH dari tangki utama, kemudian oleh transmitter besaran fisis tersebut diubah kedalam bentuk digital yang dihubungkan ke PC melalui kabel serial RS 232. Di dalam PC logika *fuzzy* bekerja menentukan output berdasar *input* berupa error dan perubahan error dengan basis pengetahuan yang telah dibuat. Kemudian *men-schedule gain* KP (proporsioanal), KI (Integral), dan KD (Derivatif) sebagai responnya yang oleh mikrokontroler di terjemahkan kedalam bentuk analog berupa tegangan PWM yang diperkuat tegangannya oleh motor driver sebagai penggerak pompa. Gambar dari *plant* reaktor pemrosesan dapat dilihat pada Gambar 1.

II. KONTROL LOGIKA FUZZY-PID PADA REAKTOR PEMROSESAN SISTEM

Sistem pengendalia pH dari reaktan CH₃COOH dan NaOH merupakan alat yang bertumpu pada selisih *setpoint* dengan pH larutan dan perubahannya yang digunakan sebagai acuan dalam pengambilan keputusan sistem pengendalian. Aksi dari sistem ini berupa putaran pompa yang menghasilkan *fowrate* sesuai dengan *gain* proporsional, integral dan derivatif yang di-*schedule* oleh sistem pengendali yang menggunakan logika *fuzzy*. Struktur dari kontrol logika *fuzzy-PID* ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar. 1. *Plant* reaktor pemrosesan.



Gambar. 2. Struktur pengendali *fuzzy-PID*.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, sistem pengendalian ini menggunakan error dan perubahan error sebagai *input* dan outputnya adalah KP, KI dan KD. Tujuannya adalah mencari hubungan antara error dan perubahan error terhadap nilai KP, KI dan KD. Dengan percobaan yang dilakukan untuk menentukan besar ketiga *gain* pengendalian tersebut untuk mendapatkan respon yang stabil dan dengan error yang relatif kecil (2-5%).

Desain Kontrol Logika Fuzzy-PID

Sistem *fuzzy* adalah inti dari sistem pengendalian ini. Sistem ini terdiri dari *fuzzyfikasi*, basis aturan, inferensi *fuzzy*, dan *defuzzyfikasi*. *Fuzzyfikasi* memetakan nilai *input* menjadi nilai *fuzzy* yaitu derajat ke anggotaan error yang bernilai 0 sampai dengan 1 yang akan dikalikan dengan nilai *gain* yang sesuai dengan basis aturan yang menghubungkan nilai *input* dengan nilai *gain* pengendalian. Inferensi *fuzzy* adalah proses pengambilan keputusan untuk mendapatkan *gain* parameter proporsional, integral dan derivatif berdasarkan rancangan basis aturan. *Defuzzyfikasi* adalah kebalikan dari *fuzzyfikasi* yaitu mengubah nilai *fuzzy* menjadi nilai output yang tegas atau *crisp*. Dimana hasil dari *fuzzy-PID* adalah nilai sinyal kontrol yang sebanding dengan nilai PWM tegangan pompa.

3.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan *input* sistem berupa *triangular* dengan nilai antara -9 sampai 9 untuk error dan -1 sampai 1 untuk perubahan error. Error akan dicari nilai derajat keanggotaannya. Dan perubahan error bersama dengan nilai error digunakan sebagai penentu keputusan yang diambil oleh sistem pengendali.

Ketika fungsi keanggotaan error telah ditentukan, selanjutnya akan dicari nilai derajat keanggotaan dari error yang nantinya akan digunakan sebagai pengali dari *gain* PID.

Fungsi keanggotaan dari eror berupa fungsi keanggotaan segitiga (lihat Gambar 3). Bentuk dari fungsi keanggotaan segitiga ditentukan oleh tiga parameter $\{a,b,c\}$ (dengan $a < b < c$). Adapun persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\text{segitiga}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} [4]$$

Untuk fungsi keanggotaan outputnya berupa nilai *gain-gain* KP, KI dan KD yang diperoleh dengan cara eksperimen. Dengan notasi untuk KP : BB = 0.45, BM = 0.4, BS = 0.35, N = 0.3, KS = 0.25, KM = 0.2, KB = 0.15. Bebas untuk menggunakan notasi selain itu, dalam paper ini, notasi tersebut hanya bertujuan untuk memudahkan saja. Notasi tersebut dapat diterjemahkan sebagai berikut BB= besar *big*, BM = besar *medium*, BS = besar *small*, N = normal, KS = kecil *small*, KM = kecil *medium*, KB = kecil *big*. Untuk KI : BB = 0.7, BM = 0.6, BS = 0.5, N = 0.4, KS = 0.3, KM = 0.2, KB = 0.1. dan untuk KD : BB = 0.3, BM = 0.25, BS = 0.2, N = 0.15, KS = 0.1, KM = 0.05, KB = 0.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain dengan Memperoleh data dengan melakukan studi literatur, melakukan eksperimen, dan merekam *input-pembobotan-menetapkan* basis aturan guna mendapat komposisi KP, KI, dan KD dengan performa terbaik.

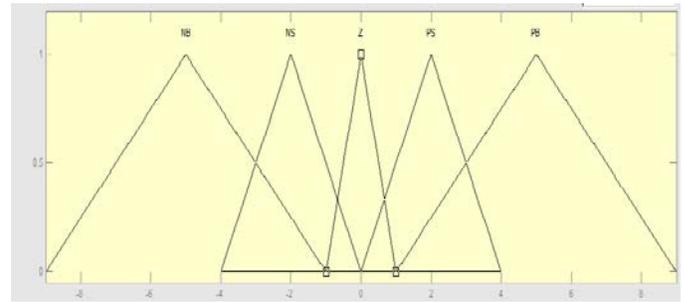
- *Pembagian Daerah Setpoint*

Perancangan *plant* meliputi pengintegrasian komponen-komponen yang disebutkan sebelumnya dan memastikannya dapat bekerja dengan baik, serta memastikan komunikasi data antar komponen dapat berjalan dengan baik. Kemudian dilakukan pengujian performansi dari sistem tanpa pengendali (*openloop*). Respon dari uji *openloop* ditunjukkan oleh Gambar 4

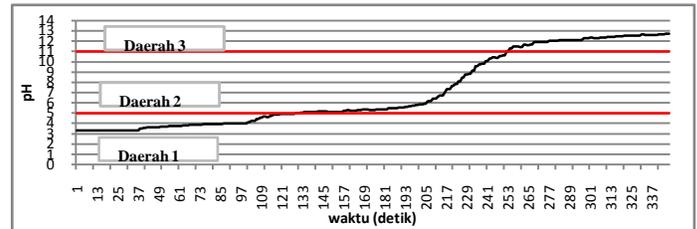
Dari Gambar 4 dan berdasar pada percobaan titrasi selanjutnya maka *set point* titrasi pH dibagi menjadi 3 daerah. Daerah 1 dan 3 memiliki gradien yang lebih besar dari daerah 2. Hal ini menunjukkan bahwa pada daerah 2, reaksi antara asam dan basa berlangsung lebih cepat daripada daerah 1 dan 3. Dengan kata lain, penambahan asam dan basa pada daerah di sekitar pH netral akan sangat berpengaruh pada nilai pH secara signifikan.

Perancangan Sistem Pengendali PID dengan Logika Fuzzy

Perancangan system kontrol dengan logika *fuzzy* untuk *schedule gain* KP, KI dan KD. dilakukan didalam komputer dengan menggunakan salah satu software pemrograman. Seperti yang disebutkan sebelumnya. Adapun basis aturan yang digunakan sebagai acuan pengambilan keputusan ditunjukkan dalam Tabel 1-3.



Gambar. 3. Fungsi keanggotaan eror.



Gambar. 4. Plot respon *openloop* sistem.

Tabel 1. Basis aturan KP daerah *setpoint* 1 dan 3

KP		ΔE				
		NB	NS	Z	PS	PB
E	NB	BB	PM	PM	BS	N
	NS	PM	PM	BS	N	KS
	Z	PM	BS	N	KS	KM
	PS	BS	N	KS	KS	KM
	PB	N	KM	KM	KM	KB

Tabel 2. Basis aturan KI daerah *setpoint* 1 dan 3

KI		ΔE				
		NB	NS	ZO	PS	PB
E	NB	KB	KM	KM	KS	N
	NS	KB	KM	KS	KS	N
	Z	KM	KS	N	BS	BM
	PS	NM	N	BS	BS	BB
	PB	N	BS	BM	BM	BB

Tabel 3. Basis aturan KD daerah *setpoint* 1 dan 3

KD		ΔE				
		NB	NS	Z	PS	PB
E	NB	KS	KM	KM	KM	KS
	NS	N	KM	KM	KS	N
	Z	N	KS	KS	KS	N
	PS	N	N	N	N	N
	PB	BM	BM	BM	KS	BM

Basis aturan tersebut adalah basis aturan untuk daerah *setpoint* 1 dan 3 dimana reaksi anatara asam dengan basa terjadi cenderung relatif lambat. Sedangkan untuk daerah 2, *setpoint* sekitar 7 atau netral. Dimana daerah tersebut sangat labil karena penambahan sedikit asam atau basa akan mempengaruhi pH larutan secara signifikan. Sehingga *gain* pada daerah tersebut

dibatasi hanya sampai Besar *Medium* (BM) saja. Setelah didapatkan basis aturan dilakukan pembuatan software pada PC berdasar basis aturan tersebut dan pemrograman mikrokontroler sebagai *Digital to Analog Converter (DAC)* berdasar kontroler yang telah dibuat. Dimana keluaran dari mikrokontroler berupa nilai – nilai *Pulse Widht Modulation (PWM)* antara 0 sampai dengan 255 yang secara linier setara dengan *flowrate* pompa antara 0 sampai dengan 165 ml/menit. Sehingga tiap kenaikan 1 nilai PWM setara dengan kenaikan *flowrate* pompa sebesar $(165-0) / (255-0) = 0,65$ ml/menit.

Uji Performansi Pada Daerah 1

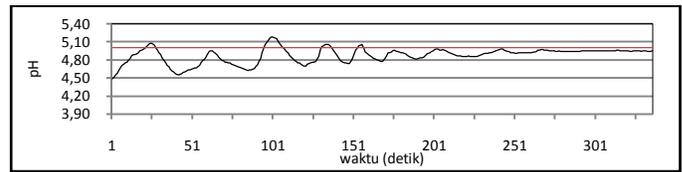
Pengujian performansi system pada daerah ditunjukkan oleh Gambar 5 dengan *setpoint* = 5. Grafik tampak berosilasi namun mampu mendekati nilai *setpoint* pada keadaan tunaknya. Grafik variabel proses berupa nilai pH larutan pada respon sistem meningkat dari pH awal sebesar 4,49 mendekati *setpoint*. Waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai keadaan tunak dengan *margin* error kurang dari sama dengan 2% dari *setpoint* adalah 231 detik dengan nilai pH rata-rata sebesar 4,95. Terjadi *overshoot* pada detik ke 100 dengan nilai pH sebesar 5,19 atau 3,8% (lihat Tabel 4).

Dari parameter – parameter kualitatif tersebut, dapat diketahui bahwa, filosofi – filosofi pengendalian PID yang dibuat dengan pendekatan logika *fuzzy* sebagai fungsi kepakaran untuk menentukan *gain* pengendalian Proporsional, Integral dan Derivativ men-*schedule gain-gain* sesuai dengan error dan perubahan error. Pada grafik 4.2, 4.3 dan 4.4, dapat dilihat bahwa *gain-gain* tersebut di-*schedule* dengan nilai tertentu yang menyesuaikan dengan besarnya error dan perubahan error. Nilai dari ketiga *gain* tersebut berimplikasi pada besarnya *gain* pengendalian. Pada gambar 4.4, grafik sinyal kontrol menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan nilai yang berkebalikan dari respon sistem (Gambar 6-10). Jadi, sistem bekerja agar nilai variabel kontrol dapat mencapai *setpoint* dan menjaga nilai variabel proses untuk selalu berada di *setpoint*.

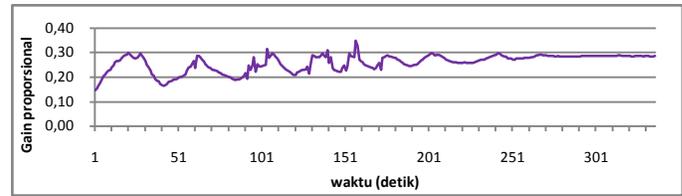
Uji Performansi Titrasi Pada Daerah 2

Pengujian performansi pada daerah 2 dilakukan dengan mengamati grafik respon sistem dengan pH awal senilai 4,94. Dari grafik, dapat dilihat bahwa sistem mampu mengendalikan pH pada daerah 2 yang sangat labil untuk mencapai *setpoint* dengan nilai pH 7. Kelabilan pada daerah 2 ini karena dengan sedikit penambahan asam atau basa akan sangat berpengaruh pada nilai pH (lihat Tabel 5).

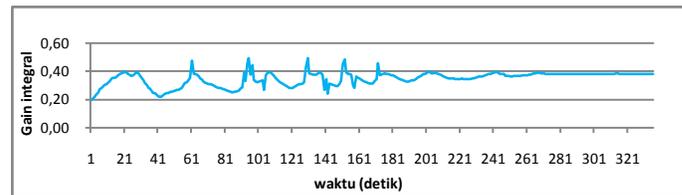
Grafik variabel proses yang berupa nilai pH larutan pada respon sistem meningkat dari pH awal sebesar 4,94 mendekati dan mencapai *setpoint*. Waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai keadaan tunak dengan *margin* error kurang dari sama dengan 5% dari *setpoint* adalah 352 detik dengan nilai pH rata-rata sebesar 6,89. *Overshoot* terjadi pada detik ke 163 dengan nilai pH sebesar 8,1 atau 15,71%. Paramete–parameter kualitatif tersebut, dapat diketahui bahwa, filosofi–filosofi pengendalian PID dibuat dengan pendekatan logika *fuzzy* sebagai fungsi kepakaran untuk menentukan *gain* pengendalian Proporsional, Integral dan Derivativ men-*schedule gain-gain* sesuai dengan error dan perubahan error.



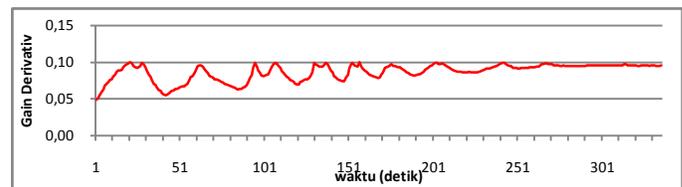
Gambar. 5. Respon sistem pada daerah 1.



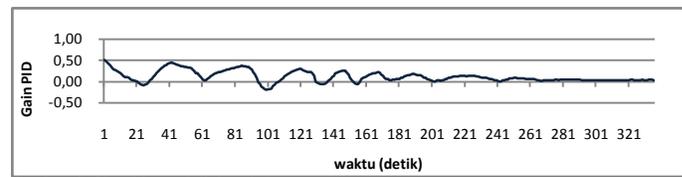
Gambar. 6. 2Gain proporsional yang di-*schedule* pada daerah 1.



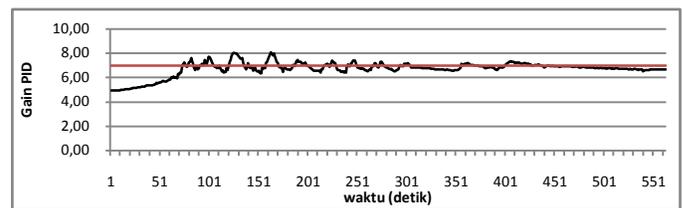
Gambar. 7. Gain integral yang di-*schedule* pada daerah 1.



Gambar. 8. Gain derivativ yang di-*schedule* pada daerah 1.



Gambar. 9. Sinyal kontrol di daerah 1.



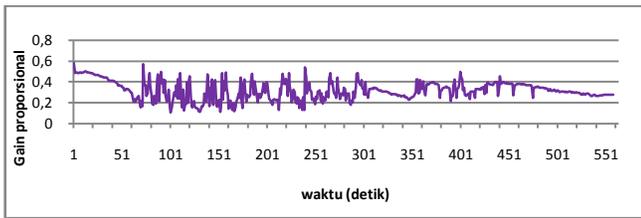
Gambar. 10. Respon sistem pada daerah 2.

Tabel 4. Tabel parameter kualitatif pada daerah 1

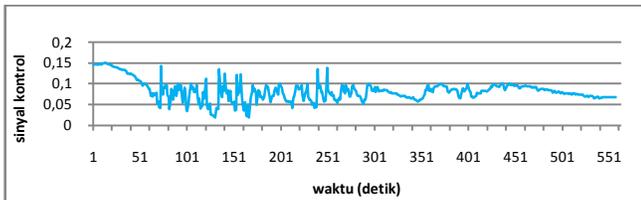
Rise Time	Peak Time (Tp)	Max. Overshoot	Settling Time (Ts)	Error Steady State (Ess)
21	100	3,8%	231	2%

Tabel 5. Tabel parameter kualitatif pada daerah 2

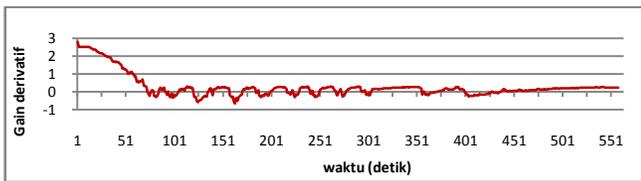
Rise Time	Peak Time (Tp)	Max. Overshoot	Settling Time (Ts)	Error Steady State (Ess)
73	163	15,71%	352	5%



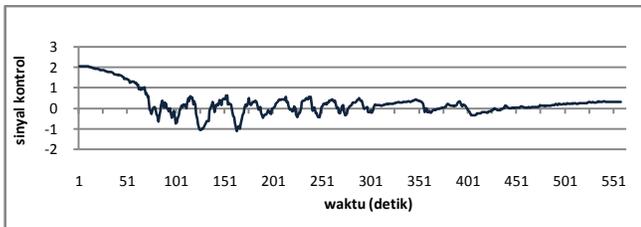
Gambar. 11. Gain proporsional yang di-schedule di daerah 2.



Gambar. 12. Gain integral yang di-schedule pada daerah 2.



Gambar. 13. Gain derivatif yang di-schedule di daerah 2.



Gambar. 14. Sinyal kontrol pada daerah 2.

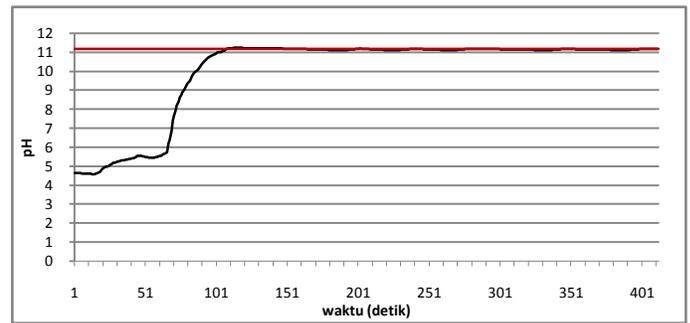
Pada Gambar 11-13, dapat dilihat bahwa gain-gain tersebut di-schedule dengan nilai tertentu yang menyesuaikan dengan besarnya eror dan perubahan eror. Nilai dari ketiga gain tersebut berimplikasi pada besarnya gain pengendalian.

Pada Gambar 14, grafik sinyal kontrol menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan nilai yang berkebalikan dari respon sistem. hal ini menunjukkan bahwa sistem bekerja agar nilai variabel kontrol dapat mencapai setpoint dan menjaga nilai variabel proses untuk selalu berada di setpoint tersebut.

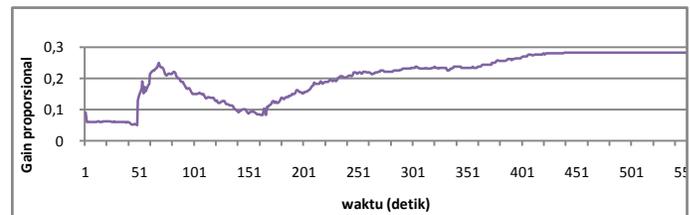
Uji Performansi Titrasi Pada Daerah 3

Uji performansi pada daerah 3 dilakukan dengan memberikan setpoint pH 11,2 yang akan dicapai oleh sistem. Dimana pH awal 4,64 (lihat Gambar 15).

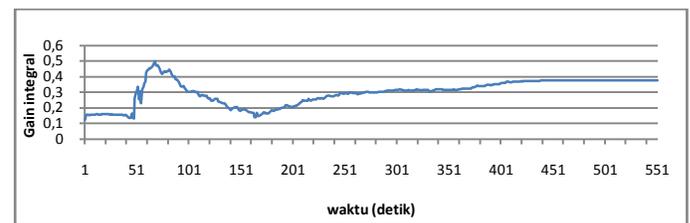
Pengujian respon sistem pada daerah 3 ditunjukkan oleh gambar 4.11 dengan setpoint = 11,2. Dari grafik respon sistem, sistem dapat mencapai setpoint, dan nilai eror kurang dari sama dengan 2% (Tabel 6). Dengan mengamati grafik respon sistem pada daerah 3, dapat dilihat bahwa sistem mampu mengendalikan pH sesuai dengan setpoint yang diberikan. Grafik variabel proses yang berupa nilai pH larutan pada respon sistem meningkat dari pH awal sebesar 4,64 mendekati dan mencapai setpoint.



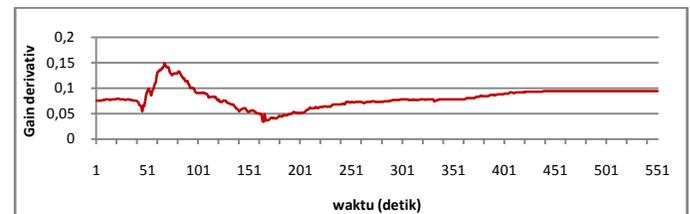
Gambar. 15. Respon sistem pada daerah 3.



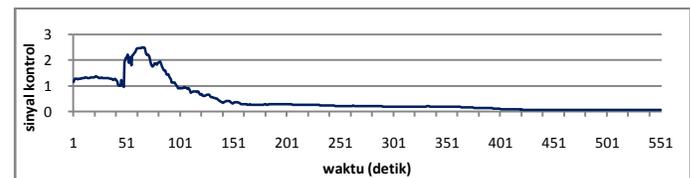
Gambar. 16. KP yang di-schedule pada daerah 3.



Gambar. 17. KI yang di-schedule pada daerah 3.



Gambar. 18. KD yang di-schedule pada daerah 3.

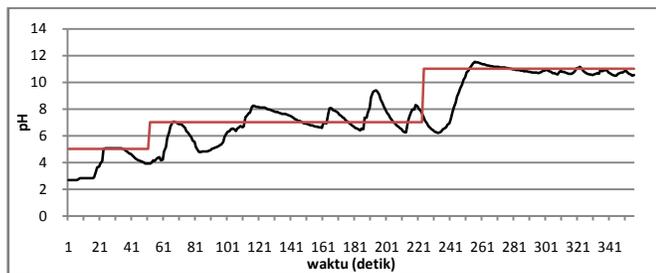


Gambar. 19. Sinyal kontrol pada daerah 3.

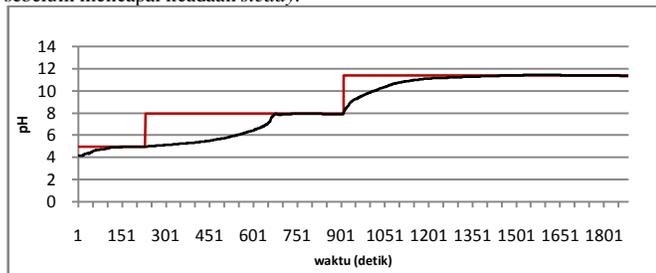
Tabel 6. Tabel parameter kualitatif pada daerah 3

Rise Time	Peak Time (Tp)	Max. Overshoot	Settling Time (Ts)	Error Steady State (Ess)
108	-	-	102	2%

Dari parameter-parameter kualitatif tersebut, tampak bahwa, filosofi-filosofi pengendalian PID yang dibuat dengan pendekatan logika fuzzy pada daerah 3 dan daerah yang dilalui ketika pH awal hingga daerah setpoint (daerah 1 dan 2) sebagai fungsi kepakaran untuk menentukan gain pengendalian proporsional, integral dan derivatif kemudian men-schedule gain-gain tersebut berdasarkan eror dan perubahan eror yang terjadi (lihat Gambar 16-19).



Gambar. 20. Respon sistem pada uji *tracking* dengan mengganti *setpoint* sebelum mencapai keadaan *steady*.



Gambar. 21. Respon sistem pada uji *tracking* dengan mengganti *setpoint* ketika mencapai keadaan *steady*.

Uji Performansi Dengan Tracking Setpoint

Pengujian respon sistem pada uji tracking *setpoint* dilakukan dengan mengubah nilai *setpoint* 5, 8 dan 11,4. Dapat dilihat performanya pada Gambar 20 dan 21.

Saat error bernilai negatif, dengan kata lain lebih besar dari *setpoint* berakibat pada *gain* proporsional dan integralnya menjadi negatif. Sedangkan nilai KD, bergantung pada perubahan error. *Gain* KP, KI dan KD. Yang *dischedule* untuk mengendalikan kecepatan putaran pompa yang menjadi faktor penentuan *flow rate*. Jika error besar dan bernilai positif (berada di bawah *setpoint*) maka *gain* PID berfungsi sebagai pemercepat putaran RPM pompa dengan memperbesar nilai PWM, yang nantinya memperbesar *flowrate*.

KESIMPULAN

Perancangan *plant* pengendalian pH asam lemah dengan basa kuat dengan menggunakan metode Kontrol Logika Fuzzy-PID dengan *Feedback* secara *real plant* telah berhasil dikerjakan. Kontrol Logika fuzzy-PID berhasil diterapkan pada *plant* untuk men-*schedule gain* proporsional, integral dan derivatif yang berorientasi pada performa sistem dengan menggunakan nilai error dan perubahan error sebagai *input*. Sinyal kontrolnya berupa PWM (*Pulse Width Modulation*) yang beraksi merubah RPM (*Rotate Per Minute*) pada pompa larutan basa, sedang RPM pompa larutan asam dijaga konstan. Selain itu, hasil rancang bangun menunjukkan bahwa sistem merespon dengan cara memberi *gain-gain* pengendali yang sesuai dengan basis aturan (*rule base*) yang dibuat dengan tujuan memberi respon yang sesuai untuk reaktor guna memperkecil error.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cordova, H. 2004. PID Self-Tuning Based On Auto Switch Algorithm To Control pH (Neutralization) Process. TeknikFisika, ITS : Surabaya.
- [2] Ismail, Syahrizal. 2011. Rancang Bangun Auto Switch PID pada Proses Netralisasi pH. ITS : Surabaya.
- [3] Jan Richardo P. Gultom. 2011. RancangBangun Kontrol pH Berbasis Fuzzy Logic Control. ITS: Surabaya.