

Implementasi Fuzzy Logic dan PID untuk Menjaga Nilai PH pada Hidroponics Assistant Berbasis IoT

Eki Kesuma Muhammad* and M. Nurkamal Fauzan

Applied Bachelor Program of Informatics Engineering
Jalan Sariasih No.54, Sarijadi, Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40151

*Eki Kesuma, e-mail: kesumaeki1@gmail.com

Abstract

Hidroponik adalah metode penanaman tanaman melalui media air yang bisa hidup di dalam rumah atau di luar rumah, tanaman hidroponik menggunakan teknik NFT (Teknik Film Gizi), dimana air dan nutrisi dapat beredar melalui akar tanaman. PH adalah pengukuran larutan nutrisi dalam keadaan asam atau basa. PH air dapat mempengaruhi tingkat pertumbuhan tanaman dalam budidaya hidroponik. PH tidak dapat bertahan pada nilai stabil yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman. Pada penelitian sebelumnya PH dengan nilai 8 membuat tanaman mati. Penelitian ini bertujuan untuk merancang pengendalian PH dengan menggunakan larutan asam dan basa. Metode PID adalah kontrol mekanisme umpan balik dan meminimalkan nilai error sebagai setpoint dan Fuzzy Logic yang digunakan untuk mempertahankan PH pada nilai antara 5,6 - 5,7. Model ini digunakan untuk PH dalam air untuk bertahan hidup pada nilai yang baik untuk tanaman. Pengamatan menunjukkan nilai PH tinggi dapat merusak pertumbuhan tanaman. Penelitian ini digunakan untuk mempertahankan PH sebesar 5,6-5,7 untuk pertumbuhan tanaman dengan menggunakan metode PID dan Fuzzy Logic.

Keywords: NFT, Hidroponics, PID, Fuzzy Logic, and PH

Copyright © 2013 Universitas Ahmad Dahlan. All rights reserved.

1. Introduction

Populasi global diperkirakan mencapai 9 miliar pada tahun 2050, kebanyakan penduduk perkotaan, yang membutuhkan peningkatan produktivitas pertanian sebesar 70%.[1] Penduduk desa yang pindah dari pedesaan ke kota-kota yang berkelanjutan diharapkan dapat mendorong perluasan lanskap perkotaan dan mempercepat Hilangnya lahan yang dibudidayakan di sekitar kota. Ditambah dengan degradasi lahan dan hilangnya kesuburan tanah. [2] Tingkat pertumbuhan penduduk di Kota Bandung menurut Biro Pusat Statistik saat ini adalah 0,37 % - 0,71% per tahun, pada tahun 2016 jumlah penduduk mencapai 2.490.622 Jiwa. Oleh karena itu lahan pertanian di Kota Bandung mengalami penurunan, dari data jumlah usaha pertanian di Bandung mengalami penurunan menjadi 34.803,00 Ha pada tahun 2015. [3] Sementara pertanian dianggap sebagai bagian penting kehidupan manusia karena merupakan sumber dasar Makanan, bahan mentah lainnya untuk memenuhi kebutuhan. [4] Pertanian menyediakan komoditas terpenting yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan. Sejumlah sayuran, buah-buahan, kacang-kacangan dan rempah-rempah semuanya terus dibudidayakan dengan berbagai teknik. [5] Teknik hidroponik memiliki tipe untuk mengatasi masalah tanah di daerah perkotaan, salah satunya adalah NFT (Nutrient Film Techniques) yang dapat diatur secara vertikal. [6] Hidroponik adalah teknik yang banyak digunakan dan sering digunakan untuk menanam tanaman tanpa tanah, memberikan kontrol yang cukup besar terhadap lingkungan unsur di sekitar akar, [7] dan merupakan sistem pertumbuhan tanaman yang menyediakan lebih banyak kontrol yang tepat atas media pertumbuhan komposisi. [8] Kemudahan pengaturan sistem, biaya pertumbuhan sistem dan fleksibilitas untuk mengkarakterisasi dan panen bahan panen terus ditingkatkan dalam sistem hidroponik. [9] Hidroponik menggunakan nutrisi sebagai solusi yang menyediakan semua nutrisi penting untuk

pengembangan tanaman. Hidroponik dapat dikontrol dengan memanfaatkan Internet Things (IoT) atau yang dikenal dengan mesin ke mesin yang mengacu pada berbagai perangkat (hal) seperti sensor, aktuator dan perangkat lainnya. [10] Alat ini dapat menghasilkan, menerima, menyampaikan informasi, melalui komunikasi kabel atau nirkabel antara perangkat informasi yang sama atau berbeda ke internet. [11] Dalam pengembangan hidroponik berbasis IoT menggunakan PH, sensor digunakan untuk membaca tingkat keasaman dalam air. [12]

Nilai pH adalah beberapa parameter kimia yang sangat penting. [13] Tanaman kehilangan kemampuan untuk menyerap nutrisi berbeda bila pH memiliki nilai yang berbeda. Tanaman memiliki pH tertentu yang optimal untuk mereka, umumnya, Meskipun kebanyakan tanaman lebih memilih sedikit asam tumbuh di sekitar lingkungan. Kontrol PH adalah proses yang penting karena sedikit perubahan input memberikan perubahan besar pada output. [14] Pada saat pengujian sensor PH pada tanaman hidroponik nilai PH mencapai 8 menyebabkan tanaman mati dan Penelitian Gent, PH Martin dengan nilai di bawah 4 memiliki efek negatif pada tanaman [15] sedangkan menurut penelitian M Agus menunjukkan bahwa nilai PH yang tepat untuk nilai tanaman 5,7-5,9, [16] dan kontrol Henrique pH sampai kisaran 5.5-6.5 yang dapat diterima. [17]

Jadi tujuan dari makalah ini adalah untuk menjaga PH pabrik pada nilai 5,6-5,7 dengan menggunakan metode PID untuk mendapatkan nilai 5,6-5,7 untuk mempertahankan PH, [18] dan metode Fuzzy digunakan untuk penundaan memberikan larutan asam atau basa untuk air di hidroponik. [19] Hasil kode sumber diunggah ke GitHub untuk memungkinkan pengguna berinteraksi atau berkolaborasi dalam tinjauan kode. [20]

2. Related Works

Penelitian pengendali Oluwayesi Proportional-Integral-Plus (PIP) untuk hasil optimal berdasarkan State-Model Dependent Parameter (SDP) dikembangkan untuk mengendalikan non-linier dan variasi waktu yang sangat bervariasi dalam proses pH netralisasi Karena proses invarian pH tidak tersedia. [21] Proses pengendalian pH melibatkan model prototipe dimana aliran asam dan basa dicampur ke dalam Reaktor Pengaduk Terus-menerus. [22] pH memerlukan pengukuran keadaan untuk implementasi pabrik. [23] Pengukuran Kontrol pH sangat berguna dalam berbagai aplikasi seperti pertanian, pengolahan makanan, proses biokimia dan aplikasi industri.[24] Tujuannya adalah mengatur pH larutan netral luar, dengan memanipulasi aliran larutan dasar, (NaOH), dicampur dengan larutan asam, (HNO₃), mengkompensasi kemungkinan perubahan pada larutan netral. buffer stream, (NaHCO₃), yang dianggap sebagai gangguan yang tidak terukur. [25] Simulasi proses kontrol netralisasi dinetralisir yang dinetralisir telah dilakukan, dan kinerja pengendalian yang baik tercapai.[26] Sistem yang dikembangkan secara memadai dilakukan secara memadai. istilah aplikasi yang seharusnya merancang bentuk pengendali yang lebih baik. metode umum untuk mendapatkan persamaan dinamik untuk proses netralisasi PH dalam tangki pengaduk kontinyu, beberapa titik muncul dalam mengembangkan netralisasi PH. [27] Dalam menjaga ukuran pH terus-menerus dengan tingkat kegagalan pada proses industri. Ada perbedaan klasifikasi untuk proses pH. Seperti yang kita ketahui asam dibagi menjadi dua kelompok, lemah atau kuat, jadi kategorisasi berdasarkan kelemahan atau kekuatan asam telah digunakan dan yang lainnya ada pada arus keluaran. [28] Penting untuk diobati. limbah kimia ini sampai tingkat pH yang dapat diterima, yaitu PH ideal berada di nomor 7. Kami mengusulkan pH 5-11 sebagai kisaran pH optimum untuk pengolahan, penggunaan kembali, dan pembuangan sampel abu. [29] Di pabrik Proses penetralisasi pH digunakan untuk menetralkan produk limbah kimia yang mungkin timbul sebagai akibat dari beberapa proses pembuatan sebelum melepaskannya ke lingkungan. Hal ini terutama untuk melindungi lingkungan dengan membuat air yang aman untuk aplikasi kelautan dan pertanian, dan dengan menghindari kerusakan pada infrastruktur terkait korosi. [30] Untuk pengukuran langsung dalam literatur yang berbeda, model telah dipresentasikan untuk menggambarkan perilaku dinamis. proses ph dengan model tipe batch. [31] Normalisasi PH diwajibkan untuk menunjukkan perilaku nonlinier yang tinggi dan kontrolnya menantang dalam proses hidroponik dan tidak dapat dikendalikan secara efektif dengan pengontrol PI konvensional. [32] Kehadiran nonlinear yang berat dalam proses netralisasi pH membuat masalah pengendalian pH menjadi sulit dan menantang. Selanjutnya, kontrol optimum sangat nonlinier. Sistem ini mem-

butuhkan pengaturan berbagai parameter dengan algoritma evolusioner yang tepat (EA). Makalah ini menyajikan algoritma genetika tak terbatas, terus menerus dan tunggal (GA). [33] Dari gagasan S. Tu PH (4.5 - 8.0) digunakan untuk memahami efek individual dan interaktif. tanaman dan serapan P dan As dipengaruhi oleh faktor-faktor ini. Fosfor dihambat Karena serapan sama sekali untuk tanaman pakis memiliki nilai PH 5,87. [34] Penyesuaian terhadap PH dilakukan dengan menggunakan 1 mol / L KOH atau 1 mol / L HNO₃. [35]

Sistem fuzzy pada umumnya terdiri dari empat komponen: fungsi keanggotaan (fuzzifikasi), basis aturan fuzzy, defuzzifikasi dan output fuzzy. Dalam fuzzifikasi, variabel input dan output numerik diubah menjadi istilah linguistik atau kata sifat, dan tingkat yang sesuai dari satu atau beberapa fungsi keanggotaan ditentukan. [36] Fuzzy Logic digunakan untuk mengendalikan proses pH (Non-linear proses). Fuzzy mengacu pada fakta bahwa logika yang terlibat dapat menangani konsep yang sebagian benar. [37] Dalam proses pH, sensor pH direndam dalam air. [37] Pada penelitian sebelumnya, sistem fuzzy digunakan untuk model dan kontrol sistem nonlinier kompleks untuk kemampuan mereka yang sangat baik untuk mendekati sistem nonlinier. [38] Fuzzy PID controller tunes PID tiga parameter dengan kontroler fuzzy. Perhatikan kesalahan suhu minyak e dan tingkat kesalahan perubahan PH sebagai variabel input, dan K_p (koreksi kenaikan proporsional), K_i (koreksi gain integral), K_d (gain correction derivative), yang menyesuaikan nilai parameter PID, sebagai output variabel. Jadi, pengontrol fuzzy keseluruhan adalah dua sistem input dan tiga keluaran. [39] Di sisi lain, bila diterapkan pada PID yang disesuaikan dengan lapangan, yang merupakan hasil dari situs standar. [40] Fuzzy Logic Controller memungkinkan perancang untuk merancang dan membangun pengendali dengan membentuk pernyataan IF-THEN dalam bentuk pernyataan s. Struktur Fuzzy Logic Controller berisi empat bagian utama sebagai berikut: Fuzzification, mekanisme inferensi, ground rules dan defuzzification, dimana bagian fuzzification digunakan untuk mengubah input nyata menjadi input fuzzy. [41] Pengontrol PID fuzzy standar, yaitu dibentuk dengan menggunakan pengontrol fuzzy PID dengan integrator dan unit tambahan pada keluaran. [42] Banyak pengendali PID berdasarkan pengoptimalan nonlinier juga diusulkan untuk berbagai aplikasi. [43] Usulan algoritma genetika yang dimodifikasi untuk mengoptimalkan parameter multi Pengontrol PID obyektif dan Mengujinya dalam sistem pendulum yang berputar. [44] Untuk menguji kinerja pengendali fuzzy seperti PID, simulasi dan percobaan berbagai larutan asam berair yang menunjukkan kondisi buffer yang terdiri dari asam asetat dan propionat yang dinetralkan dalam satu CSTR tunggal. dengan natrium hidroksida yang memiliki konsentrasi molar $[NaOH] = 0,2 \text{ Mol / L}$. [45] Untuk itu pro Dengan penundaan yang besar, nonlinier, dan lain-lain, tidak mudah bagi PID konvensional untuk mencapai kinerja yang diinginkan. Penyesuaian Fuzzy Controller tidak bergantung pada model matematis yang akurat dan memiliki keuntungan besar dalam memecahkan ketidakpastian. [46] Untuk membangun model sistem kontrol digital dengan kontroler PID fuzzy dalam paket pemodelan SIMULINK, kami akan mentransfer dari Sumber sub-kategori ke jendela model dua blok. Konstan dan satu blok Langkah, menghasilkan fungsi unit step; Operasi Matematika - Jumlah blok pembanding dan dua blok Gain. [18] Fuzzy Logic digunakan untuk mengendalikan proses pH (proses non linier). Istilah fuzzy tidak dapat dinyatakan sebagai "true" atau "false" tetapi sebagai "partial true". [19] Masukan pengendali PID fuzzy adalah kesalahan e dan kesalahan perubahan tingkat pH, setelah keluaran fuzzy, K_p , dan K_d yang membuat pengendali PID menyesuaikan parameternya sendiri sesuai dengan kesalahan dan tingkat kesalahan yang berbeda dari sistem. [47] [48]

Dalam penelitian sebelumnya PH dengan nilai 8 membuat tanaman mati. Penelitian ini bertujuan untuk merancang pengendalian PH dengan menggunakan larutan asam dan basa. Metode dalam jurnal yang sebelumnya hanya menggunakan satu metode untuk mempertahankan nilai PH adalah metode PID. Penelitian ini menggabungkan dua metode yaitu metode PID yaitu mekanisme kontrol umpan balik dan meminimalkan nilai kesalahan sebagai titik setapak sehingga PH dapat bertahan pada nilai 5,6 - 5,7 dan Fuzzy Logic yang digunakan untuk memberi waktu tunda pada alat untuk tidak memberikannya. larutan penyangga berulang kali Model ini digunakan untuk PH dalam air untuk bertahan hidup pada nilai yang baik untuk tanaman. Pengamatan menunjukkan nilai PH tinggi dapat merusak pertumbuhan tanaman. Penelitian ini digunakan untuk mempertahankan PH sebesar 5,6-5,7 untuk pertumbuhan tanaman dengan menggu-

nakan metode PID dan Fuzzy Logic.

References

- [1] D. Touliatos, I. C. Dodd, and M. McAinsh, "Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics," *Food and energy security*, vol. 5, no. 3, pp. 184–191, 2016.
- [2] R. Gotor, P. Ashokkumar, M. Hecht, K. Keil, and K. Rurack, "Optical ph sensor covering the range from ph 0–14 compatible with mobile-device readout and based on a set of rationally designed indicator dyes," *Analytical chemistry*, vol. 89, no. 16, pp. 8437–8444, 2017.
- [3] BPS, "Statistik indonesia 2017 dalam infografis," 2017.
- [4] G. J. U. Ossa, C. G. Montoya, and M. A. V. Velázquez, "Control and monitoring of a stevia plantation in a hydroponic system," in *2017 IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*, Oct 2017, pp. 1–5.
- [5] R. Nalwade and T. Mote, "Hydroponics farming," in *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, May 2017, pp. 645–650.
- [6] S. Umamaheswari, A. Preethi, E. Pravin, and R. Dhanusha, "Integrating scheduled hydroponic system," in *2016 IEEE International Conference on Advances in Computer Applications (ICACA)*, Oct 2016, pp. 333–337.
- [7] P. N. Crisnapati, I. N. K. Wardana, I. K. A. A. Aryanto, and A. Hermawan, "Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an iot based nft farm using web technology," in *2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM)*, Aug 2017, pp. 1–6.
- [8] J. Pitakphongmetha, N. Boonnarn, S. Wongkoon, T. Horanont, D. Somkiadcharoen, and J. Prapakornpilai, "Internet of things for planting in smart farm hydroponics style," in *2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, Dec 2016, pp. 1–5.
- [9] A. Pramuanjaroenkij, N. Dabut, S. Sutti, and A. Sanboon, "The study of turbulent nutrient solution flows in difference hydroponics system arrangements," in *Applied Mechanics and Materials*, vol. 866. Trans Tech Publ, 2017, pp. 88–91.
- [10] P. C. P. D. Silva and P. C. A. D. Silva, "Ipanera: An industry 4.0 based architecture for distributed soil-less food production systems," in *2016 Manufacturing Industrial Engineering Symposium (MIES)*, Oct 2016, pp. 1–5.
- [11] M. A. Triawan, H. Hindersah, D. Yolanda, and F. Hadiatna, "Internet of things using publish and subscribe method cloud-based application to nft-based hydroponic system," in *2016 6th International Conference on System Engineering and Technology (ICSET)*, Oct 2016, pp. 98–104.
- [12] R. F. B. Guimarães, R. do Nascimento, D. F. de Melo, J. G. Ramos, M. de Oliveira Pereira, J. A. F. Cardoso, and S. C. de Lima, "Production of hydroponic lettuce under different salt levels of nutritive solution," *Journal of Agricultural Science*, vol. 9, no. 11, p. 242, 2017.
- [13] D. S. Domingues, H. W. Takahashi, C. A. Camara, and S. L. Nixdorf, "Automated system developed to control ph and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 84, pp. 53 – 61, 2012. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169912000361>
- [14] L. Yang, A. Giannis, V. W.-C. Chang, B. Liu, J. Zhang, and J.-Y. Wang, "Application of hydroponic systems for the treatment of source-separated human urine," *Ecological Engineering*, vol. 81, pp. 182 – 191, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857415001238>
- [15] M. P. Gent, "Factors affecting relative growth rate of lettuce and spinach in hydroponics in a greenhouse," *HortScience*, vol. 52, no. 12, pp. 1742–1747, 2017.
- [16] S. M. Schmöckel, D. J. Lightfoot, R. Razali, M. Tester, and D. E. Jarvis, "Identification of putative transmembrane proteins involved in salinity tolerance in chenopodium quinoa by integrating physiological data, rnaseq, and snp analyses," *Frontiers in plant science*, vol. 8, p. 1023, 2017.
- [17] H. J. A. Sánchez, "Wood ash as a nutrient supplement for cucumis sativus in an anthroponics

- system,” 2016.
- [18] Y. Kudinov, V. Kolesnikov, F. Pashchenko, A. Pashchenko, and L. Papic, “Optimization of fuzzy pid controller’s parameters,” *Procedia Computer Science*, vol. 103, pp. 618 – 622, 2017, xII International Symposium Intelligent Systems 2016, INTELS 2016, 5-7 October 2016, Moscow, Russia. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187705091730087X>
 - [19] M. N. R. Ibrahim, M. Solahudin, and S. Widodo, “Control system for nutrient solution of nutrient film technique using fuzzy logic,” *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 13, no. 4, pp. 1281–1288, 2015.
 - [20] A. Zakiah and M. N. Fauzan, “Collaborative learning model of software engineering using github for informatics student,” in *2016 4th International Conference on Cyber and IT Service Management*, April 2016, pp. 1–5.
 - [21] O. A. Ogun, M. U. Festus, and I. J. Inyang, “Optimal pip control of a ph neutralization process based on state-dependent parameter model,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 2, pp. 37 – 42, 2017, control Conference Africa CCA 2017. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317335383>
 - [22] S. Harivardhagini and A. Raghuram, “Variable structure control of ph neutralization of a prototype waste water treatment plant using labview,” in *2015 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC)*, Dec 2015, pp. 79–84.
 - [23] A. Nejati, M. Shahrokhi, and A. Mehrabani, “Comparison between backstepping and input–output linearization techniques for ph process control,” *Journal of Process Control*, vol. 22, no. 1, pp. 263 – 271, 2012. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959152411001703>
 - [24] N. Akshay and D. Subbulekshmi, “Online auto selection of tuning methods and auto tuning pi controller in fopdt real time process-ph neutralization,” *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 1109 – 1116, 2017, first International Conference on Power Engineering Computing and CONTROL (PECCON-2017) 2nd -4th March .2017. Organized by School of Electrical Engineering, VIT University, Chennai, Tamil Nadu, India. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217324761>
 - [25] W. I. Alama and I. A. Tabacchi, “Wiener predictive control for a ph neutralization plant,” in *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, Oct 2017, pp. 1–7.
 - [26] Z. Zou, D. Zhao, X. Liu, Y. Guo, C. Guan, W. Feng, and N. Guo, “Pole-placement self-tuning control of nonlinear hammerstein system and its application to ph process control,” *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 23, no. 8, pp. 1364 – 1368, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1004954115000853>
 - [27] S. S. Ram, D. D. Kumar, B. Meenakshipriya, and K. Sundaravadivu, “Designing and comparison of controllers based on optimization techniques for ph neutralization process,” in *2016 International Conference on Information Communication and Embedded Systems (ICICES)*, Feb 2016, pp. 1–5.
 - [28] M. H. Dolatabadi, M. N. Monfared, and A. Fakharian, “Robust h-infinity control for the ph neutralization process based on fuzzy models,” in *2013 13th Iranian Conference on Fuzzy Systems (IFSC)*, Aug 2013, pp. 1–6.
 - [29] S. Tu and L. Ma, “Interactive effects of ph, arsenic and phosphorus on uptake of as and p and growth of the arsenic hyperaccumulator *pteris vittata* l. under hydroponic conditions,” *Environmental and Experimental Botany*, vol. 50, no. 3, pp. 243 – 251, 2003. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847203000406>
 - [30] K. Bingi, R. Ibrahim, M. N. Karsiti, T. D. Chung, and S. M. Hassan, “Optimal pid control of ph neutralization plant,” in *2016 2nd IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA)*, Sept 2016, pp. 1–6.
 - [31] R. Azarmi, M. Tavakoli-Kakhki, H. MonirVaghefi, D. Shaghaghi, and A. Fatehi, “Fractional order control of ph neutralization process based on fuzzy inverse model,” in *2015 23rd Iranian Conference on Electrical Engineering*, May 2015, pp. 817–822.

- [32] M. Ahmadi and M. Haeri, "An integrated performance and robust stability based multi-model control of nonlinear systems: A ph neutralization reactor," in *2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, May 2017, pp. 679–684.
- [33] P. K. Singh, S. Bhanot, and H. K. Mohanta, "Genetic optimization based adaptive fuzzy logic control of a ph neutralization process," *International Journal of Control and Automation*, vol. 7, no. 11, pp. 219–234, 2014.
- [34] Y. Yakubu, J. Zhou, D. Ping, Z. Shu, and Y. Chen, "Effects of ph dynamics on solidification/stabilization of municipal solid waste incineration fly ash," *Journal of Environmental Management*, vol. 207, pp. 243 – 248, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717311179>
- [35] A. Liopa-Tsakalidi, P. Barouchas, and G. Salahas, "Response of zucchini to the electrical conductivity of the nutrient solution in hydroponic cultivation," *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 4, pp. 459 – 462, 2015, efficient irrigation management and its effects in urban and rural landscapes. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210784315001163>
- [36] S. Suthar, R. Verma, S. Deep, and K. Kumar, "Optimization of conditions (ph and temperature) for lemna gibba production using fuzzy model coupled with mamdani's method," *Ecological Engineering*, vol. 83, pp. 452 – 455, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857415301087>
- [37] R. Suchithra, V. Sruthilaya, V. Sneha, R. Shanmathi, and P. Navaseelan, "ph controller for water treatment using fuzzy logic," in *2016 IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)*, July 2016, pp. 200–204.
- [38] X. chen, A. Xue, D. Peng, and Y. Guo, "Modeling of ph neutralization process using fuzzy recurrent neural network and dna based nsga-ii," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 351, no. 7, pp. 3847 – 3864, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016003213001282>
- [39] H. Huang, S. Zhang, Z. Yang, Y. Tian, X. Zhao, Z. Yuan, S. Hao, J. Leng, and Y. Wei, "Modified smith fuzzy pid temperature control in an oil-replenishing device for deep-sea hydraulic system," *Ocean Engineering*, vol. 149, pp. 14 – 22, 2018. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801817307217>
- [40] S. Dettori, V. Iannino, V. Colla, and A. Signorini, "An adaptive fuzzy logic-based approach to pid control of steam turbines in solar applications," *Applied Energy*, 2017. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261917311613>
- [41] A. M. Zaki, M. El-Bardini, F. Soliman, and M. M. Sharaf, "Embedded two level direct adaptive fuzzy controller for dc motor speed control," *Ain Shams Engineering Journal*, 2015. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447915001653>
- [42] O. Karasakal, M. Guzelkaya, I. Eksin, E. Yesil, and T. Kumbasar, "Online tuning of fuzzy pid controllers via rule weighing based on normalized acceleration," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 26, no. 1, pp. 184 – 197, 2013. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197612001480>
- [43] X. Liu, Q. Ma, W. Yu, and K. Liu, "Research on the ph value neutralization control strategy of sewage treatment based on the expert pid algorithm," in *2017 Chinese Automation Congress (CAC)*, Oct 2017, pp. 1812–1815.
- [44] R. Zhang, S. Wu, R. Lu, and F. Gao, "Predictive control optimization based pid control for temperature in an industrial surfactant reactor," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 135, pp. 48 – 62, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169743914000690>
- [45] M. Heredia-Molinero, J. Sánchez-Prieto, J. Briongos, and M. Palancar, "Feedback pid-like fuzzy controller for ph regulatory control near the equivalence point," *Journal of Process Control*, vol. 24, no. 7, pp. 1023 – 1037, 2014. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959152414001437>
- [46] Y. Wang, Q. Jin, and R. Zhang, "Improved fuzzy pid controller design using predictive functional control structure," *ISA Transactions*, vol. 71, pp. 354 – 363, 2017. [Online].

Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019057817305542>

- [47] Z. Z. Xu, G. Z. Cao, S. D. Huang, and H. X. Zheng, "Sliding mode control of the planar switched reluctance motor for interference suppression," in *2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, June 2016, pp. 2130–2134.
- [48] X. D. Fu, G. Z. Cao, S. D. Huang, and C. Wu, "Fuzzy pid control of the planar switched reluctance motor for precision positioning," in *2017 7th International Conference on Power Electronics Systems and Applications - Smart Mobility, Power Transfer Security (PESA)*, Dec 2017, pp. 1–4.