

Desain dan Implementasi Sistem Kontrol Proses Berbasis Internet of Things

Chalidia Nurin Hamdani¹, Wijaya Adi Nugraha², Roni Heru Triyanto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral
Akamigas

Jl. Gajah Mada No. 38, Blora, Jawa Tengah, Indonesia 58315

Email: hamdani113@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan industri telah memasuki era *industry 4.0*. Salah satu teknologi di era ini adalah yang dikenal dengan *Internet of Things* (IoT). Industri dituntut untuk dapat beradaptasi dengan teknologi baru ini, termasuk industri proses. IoT membawa konsep fleksibilitas, efisiensi dan produktifitas melalui teknologi informasi yang cerdas berbasis internet. Proses yang sebelumnya hanya dapat dikendalikan dan dipantau melalui ruang kontrol dengan komunikasi serial berbasis kabel, saat ini dituntut untuk dapat dikendalikan dan dipantau kapan saja dan di mana saja dengan komunikasi berbasis internet. Dalam penelitian ini, kami membangun prototype satu lup sistem kontrol proses level dengan kontroler utama menggunakan mikrokontroler ATmega328p. Kontrol PID diimplementasikan ke dalam algoritma mikrokontroler yang terintegrasi dengan ESP3286 sehingga pengendalian dan pemantauan dapat dilakukan di mana saja dan kapan saja via Human Machine Interface (HMI) berbasis website. Pengujian pada prototype menunjukkan hasil yang menjanjikan dengan karakteristik respon sistem kontrol: *zero offset*, *maximum overshoot* 3 cm dan *settling time* sekitar 125 detik. Penggunaan website sebagai HMI dapat berjalan dengan baik dengan waktu tunda maksimal sebesar 3 detik jika dibandingkan transfer data dengan komunikasi serial.

Kata kunci: kontrol level, PID, Internet of Things, ATmega328p

ABSTRACT

Industrial revolution has reached industrial era that called industry 4.0. Internet of Things (IoT) is the one of technology in this era. All of industry have been affected and have to be able to adapt with this technology, including industry of process. IoT brings a flexibility, efficiency and productivity concept by using intelligent information technology based on internet. Process that can be controlled and monitored from control room by wires is efficient enough previously, now its not enough. This era require the process industry can manage all the process (including control and monitor) anytime and anywhere by using internet. In this research, we make level control system prototype by using ATmega328p microcontroller as a main controller. PID control has been designed and implemented to microcontroller algorithm that have been integrated with ESP8266 modul so the controlling and monitoring can be done anywhere and anytime via website based Human Machine Interface (HMI) based on website. Prototype tests have been conducted and give a promising result. Control system response characteristic: zero offset, 3 cm of maximum overshoot and 125 seconds of settling time. Website as HMI has been tested and give a good performance, but still have a delay time about 3 seconds compared with serial communication by wire.

Keywords: level control, PID, Internet of Things, ATmega328p

Pendahuluan

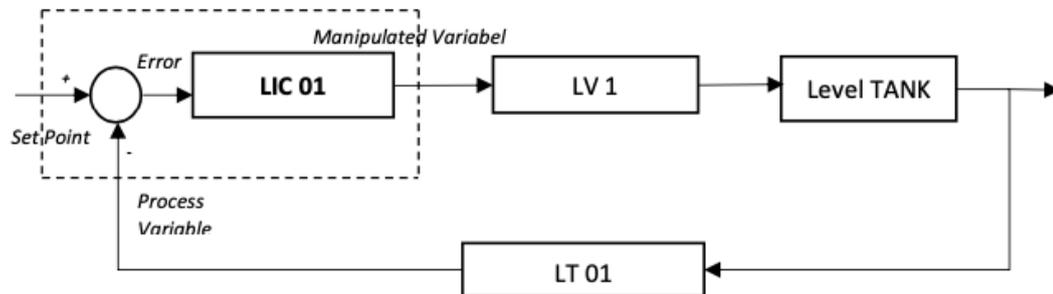
Industri 4.0 telah merubah wajah teknologi mulai dari pengembangan hingga pengimplementasiannya. Teknologi di era ini meliputi kecerdasan buatan, *big data and analytics*, rantai pasok, *cloud*, *Internet of Things* (IoT) dan simulasi (Santos et al., 2018). Dalam penerapannya di industri, teknologi-teknologi tersebut menjanjikan peningkatan fleksibilitas, efisiensi dan produktifitas melalui berbagai media dan teknologi informasi yang cerdas sehingga dapat meningkatkan keberlanjutan industri (Ibarra et al., 2018). Selain itu, teknologi IoT juga memungkinkan industri dapat menyelaraskan produksi, ekonomi lingkungan, sosial dan aspek lainnya secara terpadu (Tseng et al., 2018), dalam sistem berbasis IoT, integrasi sensor, aktuator, teknologi komunikasi dan mikrokontroler memiliki peran penting yang dapat mencerminkan bagaimana semua peralatan tersebut terhubung ke internet. Keuntungan dan kekurangan sistem berbasis IoT telah dibahas pada (Xu et al., 2014) dan (Ray, 2016). Salah satu kelebihan utama dari sistem berbasis IoT adalah peningkatan aksesibilitas. Suatu sistem fisik dapat dipantau atau dikontrol dengan lebih mudah dan dari jarak yang lebih jauh dengan atau tanpa kabel.

Sistem kontrol proses merupakan salah satu contoh sistem fisik yang membutuhkan pengukuran, pemantauan dan pengendalian besaran fisik secara efektif dan efisien. Sistem kontrol proses banyak ditemui di industri, seperti industri kimia, pengolahan minyak dan gas dan lain-lain. Terdapat 4 proses yang umum dikontrol yaitu level, tekanan, temperatur dan aliran. Kontroler utama yang umum digunakan di industri berupa *Distributed Control System* dan *Programmable Logic Controller*. Sedangkan metode yang digunakan hingga saat ini adalah metode Proportional Derivative Integral (PID). Hampir 90% industri masih menggunakan metode konvensional ini (Singh et al., 2018). Kontrol PID telah banyak dikembangkan seperti fuzzy-PID (Sheng et al., 2019) dan Neuro-fuzzy PID (Dehghani & Khodadadi, 2017). Namun, pengembangan ini menjadikan algoritma kontrol menjadi cukup kompleks sehingga sulit direalisasikan dalam bentuk hardware. Hal ini terlihat dari produk kontroler komersial yang hingga saat ini masih memakai kontrol PID konvensional.

Saat ini keterbatasan jarak dan waktu menjadi tantangan tersendiri dalam melakukan pengontrolan dan pemantauan proses. Namun, IoT menawarkan solusi yang memungkinkan seorang operator dapat melaksanakan kegiatan pengontrolan dan pemantauan secara *up to date* dan tanpa batasan jarak. Pengontrolan dan pemantauan jarak jauh dengan menggunakan IoT ini akan menjadikan kegiatan tersebut menjadi lebih cepat dan efisien. Apalagi saat ini, pembangunan infrastruktur internet yang terus meningkat sehingga cakupan tempat yang mendapat akses internet semakin meluas sehingga semua aktivitas yang membutuhkan internet dapat dilaksanakan kapanpun dan dimanapun, dalam melakukan pengembangan sebuah prototype dibutuhkan sebuah kontroler dengan akses terbuka yang dapat dirancang dan diprogram sesuai kebutuhan. Mikrokontroler ATmega328p dapat digunakan sebagai kontroler dan dapat diintegrasikan dengan IoT (Rani et al., 2021). Pemrograman mikrokontroler ini cukup mudah dilakukan berkat adanya Arduino IDE.

Dalam penelitian ini, kami merancang satu lup kontrol proses level menggunakan metode PID berbasis IoT dengan diagram blok sebagaimana Gambar 1. Hasil rancangan direalisasikan dalam bentuk prototype dengan kontroler utama berupa ATMEGA328. Kontroler ini diintegrasikan dengan ESP8266 sebagai perangkat komunikasi internet yang menghubungkan sistem kontrol dengan website sebagai *Human Machine Interface* (HMI).

Sistem kontrol hasil rancangan diuji dan disimulasikan menggunakan MATLAB serta dibandingkan dengan hasil pengujian pada prototype.



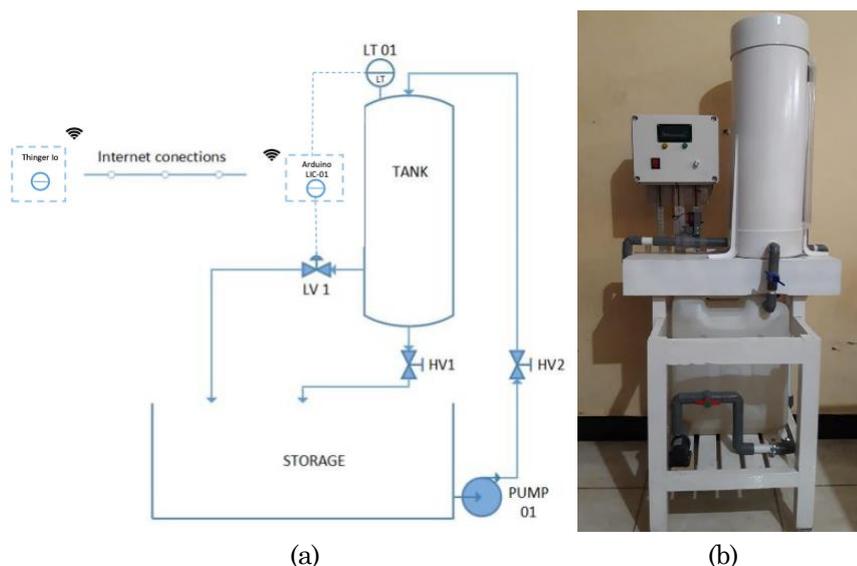
Gambar 1. Diagram blok sistem kontrol proses level

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam dua tahap yaitu rancang bangun perangkat keras prototype dan perancangan kontrol PID

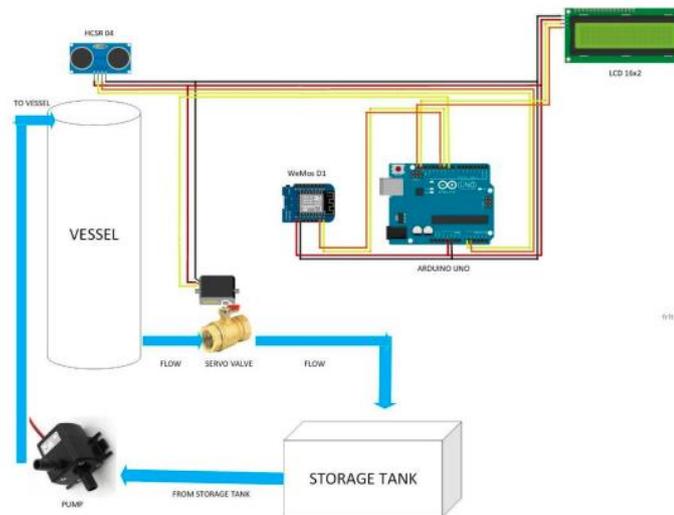
1. Rancang Bangun Perangkat Keras Prototype

Prototype yang dibuat adalah sistem kontrol proses level dengan P&ID sebagaimana pada Gambar 2a. Terdapat 8 komponen utama dalam sistem tersebut, antara lain: *website thinger io* sebagai HMI, *Arduino ATmega328p* sebagai kontroler, tangki ukur sebagai tempat fluida yang ketinggiannya akan dikontrol, *level transmitter* LT01 sebagai komponen pengukuran, *servo valve* LV1 sebagai aktuator, *hand valve* HV1 sebagai inlet, HV2 sebagai valve pengaman, tangki storage sebagai tangki penampungan fluida dan pompa PUMP01 sebagai penggerak fluida.



Gambar 2. (a) P&ID sistem kontrol level (b) prototype

Cairan pada tangki STORAGE akan dialirkan menuju tangki TANK menggunakan pompa PUMP01. Sensor level LT01 berfungsi mengukur perubahan Process Variable (PV) level fluida pada TANK dan mengirimkan sinyal hasil pengukuran tersebut ke kontroler LIC01. Hasil pengukuran tersebut akan digunakan oleh kontroler LIC01 sebagai pembanding terhadap *Set Point* (SP) yang diinginkan operator. Hasil perbandingan tersebut diolah oleh kontroler untuk menghasilkan sinyal kontrol yang akan dikirimkan ke *servo valve* LV01 agar PV sama dengan SP. Kontroler LIC01 akan berkomunikasi dengan server thinger io via internet dan divisualisasikan dalam HMI berupa *website*. Rancangan tersebut direalisasikan dalam bentuk prototype sebagaimana pada Gambar 2b.



Gambar 3. Rancangan pengabelan

Sistem pengkabelan dibuat sebagaimana pada Gambar 3. Kontroler utama dalam prototype ini berupa mikrokontroler ATmega 328p yang terpadu dalam sistem minimum Arduino Uno. Semua sensor dan sistem elektronik terhubung dengan Arduino uno dan terhubung dengan ESP8266 tipe Wemos D1 sehingga dapat berkomunikasi dengan server thinger io via jaringan internet. Komunikasi antara Wemos D1 dan server thinger io bersifat full duplex sehingga memungkinkan melakukan pengendalian dan pemantauan secara bersama. Data hasil pengukuran sensor ultrasonic yang terekam di serial monitor Arduino akan dikirimkan ke server thinger io melalui Wemos D1 via jaringan internet. Sebaliknya, data dari thinger io juga dapat dikirimkan ke Arduino untuk mengatur *setpoint* pada sistem kontrol level.

HMI dirancang pada website thinger io dengan tampilan seperti pada Gambar 4. Tampilan *slide control* digunakan untuk mengatur setpoint secara online dengan range nilai 0 cm sampai dengan 50 cm. Ketinggian level air ditampilkan dengan 2 jenis tampilan yaitu *gauge* dan grafik. Tampilan *gauge* untuk mengetahui ketinggian level air saat ini dan tampilan grafik untuk mengetahui *data history* ketinggian level air.

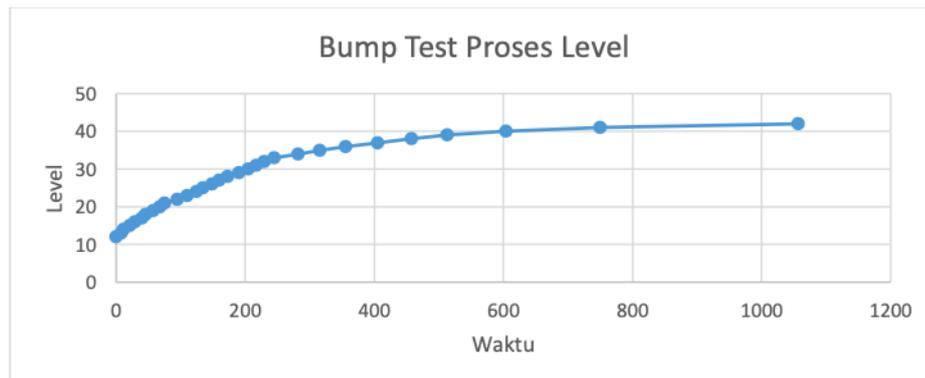


Gambar 4. Rancangan HMI

Selain menggunakan tampilan HMI berupa website, juga dirancang HMI dengan menggunakan Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 sebagai pembanding dan untuk memberikan konfirmasi hasil pengukuran. LCD ini dirancang untuk menampilkan nilai setpoint, PV dan persentase bukaan valve.

2. Perancangan Kontrol PID

Perancangan kontrol PID dilakukan berbasis model, sehingga perlu dilakukan pemodelan proses level yang telah direalisasikan dalam bentuk prototype. Pemodelan dilaksanakan dengan metode blackbox atau *bumptest* dengan cara memberikan sinyal step pada MV dan merekam PV yang dihasilkan. Grafik hasil bumptest dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil *Bumptest*

Data hasil bumptest tersebut digunakan untuk menghitung parameter PID dengan menggunakan metode Ziegler-Nichols. Parameter PID dihitung menggunakan persamaan sebagaimana pada Tabel 1 (Ravy et al., 2021). Pada penelitian ini, dipilih persamaan kedua karena hasil *bumptest* menunjukkan karakteristik sistem orde pertama.

Tabel 1. Metode Ziegler-Nichols

Kontrol	Kp	τ_i	τ_d
P	T/L	~	0
PI	0.9(T/L)	L/0.3	0
PID	1.2(T/L)	2L	0.5L

Dari hasil bump test diperoleh nilai L sebesar 15 dan T sebesar 442. Dengan menggunakan persamaan PI pada Tabel 1, diperoleh parameter sebagai berikut:

$$K_p = 0.9 \frac{442}{15} = 26.52 \quad (1)$$

$$\tau_i = \frac{15}{0.3} = 50 \quad (2)$$

Hasil dan Pembahasan

Parameter PID hasil perhitungan diimplementasikan melalui pemrograman Arduino dan dilakukan tiga kali pengujian dengan perubahan setpoint. Pengujian pertama dilakukan dengan daya pompa inlet sebesar 50% dan mengubah setpoint menjadi 30 cm dari kondisi awal level 10 cm. Respon sistem kontrol hasil pengujian pertama dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Respon prototype dengan perubahan setpoint dari 10 ke 30 cm

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa terdapat sedikit perbedaan antara respon prototype dan respon simulasi. Respon prototype menunjukkan adanya maksimum overshoot 2 cm dengan settling time sebesar 125 detik (toleransi 0.5%). Pada saat kondisi tunak, terukur bukaan valve sebesar 54%. Pada percobaan pertama ini juga dilakukan pengujian dengan disturbance dengan cara meningkatkan daya pompa inlet menjadi sebesar 70%. Efek pemberian disturbance ini dapat dilihat pada Gambar 6. Terjadi sedikit lonjakan pada saat disturbance diberikan dan sistem kembali tunak dengan bukaan valve sebesar 69%. Artinya kontrol PID dapat mengatasi gangguan yang diberikan dengan menyesuaikan bukaan valve untuk menjaga PV tetap menyesuaikan dengan setpoint yang diberikan.

Pengujian kedua dilakukan dengan mengubah setpoint dari 10 cm menjadi 20 cm. Dari pengujian ini diperoleh respon sebagaimana Gambar 7. Pada pengujian ini, respon sistem memiliki maksimum overshoot sebesar 3 cm dengan settling time sekitar 125 detik. Pada saat kondisi tunak, terukur bukaan valve sebesar 51%. Sama seperti percobaan pertama, pada percobaan kedua juga diberikan disturbance dengan mengubah daya pompa. Daya pompa diturunkan menjadi 40% sehingga menimbulkan undershoot seperti dapat dilihat pada Gambar 7. Namun, kontrol PID masih bisa mengatasi disturbance yang diberikan dengan mengurangi bukaan valve menjadi 37% dan PV kembali dapat menyesuaikan dengan setpoint.



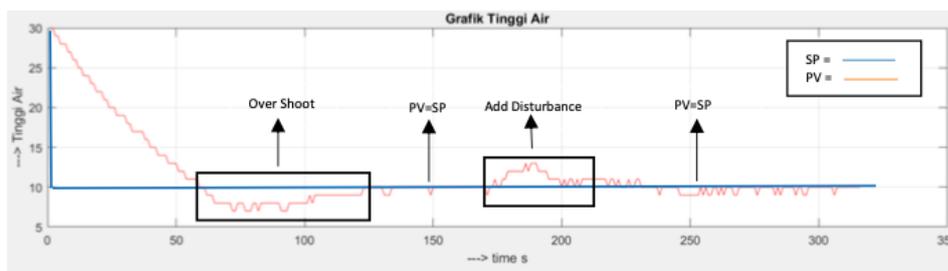
Gambar 7. Respon prototype dengan perubahan setpoint dari 10 ke 20 cm

Berbeda dengan pengujian pertama dan kedua, pengujian ketiga dilakukan dengan menurunkan setpoint dari 30 cm menjadi 10 cm dengan daya pompa 50%. Respon aktual prototype pada pengujian ketiga ini dapat dilihat pada Gambar 8. Pada respon aktual terdapat maksimum overshoot sebesar 3 cm dengan settling time 125 detik. Pada saat kondisi tunak, terukur bukaan valve sebesar 54%. Disturbance diberikan dengan mengubah daya pompa menjadi 70% sehingga menimbulkan sedikit perubahan pada PV sebagaimana terlihat pada Gambar 8. Kontrol PID dapat mengatasi disturbance ini dengan mengubah bukaan valve menjadi 69% sehingga PV kembali sesuai dengan setpoint. Rangkuman karakteristik respon sistem kontrol dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 8. Respon prototype dengan perubahan setpoint dari 30 ke 10 cm

Untuk melakukan validasi data terhadap hasil respon yang terekam dan ditampilkan via website, juga dilakukan perekaman data respon via software MATLAB dengan komunikasi serial. Contoh tampilan rekaman data respon tersebut dapat dilihat pada Gambar 9. Dari ketiga pengujian yang telah dilakukan, respon yang dihasilkan secara umum sama persis. Namun, terdapat waktu jeda sebesar 1 hingga 3 detik antara komunikasi data serial dan komunikasi data internet. Hal ini sangat dipengaruhi oleh faktor koneksi internet. Selain itu, Dari ketiga pengujian yang dilakukan pada prototype, dapat dilihat bahwa pada saat respon mencapai kondisi tunak, terdapat ripple nilai pada PV sebesar 1 cm. Hal ini muncul akibat floating pengukuran level sensor ultrasonik yang menyebabkan floating bukaan valve.



Gambar 9. Tampilan rekam data aktual menggunakan software MATLAB

Tabel 2. Keterangan pada tabel juga

Parameter	Pengujian pertama	Pengujian kedua	Pengujian ketiga
Settling time	125 detik	125 detik	125 detik
Time constant	30 detik	32 detik	30 detik
Max. Overshoot	2 cm	2 cm	3 cm
Offset	0	0	0
Ripple	1 cm	1 cm	1 cm

Simpulan

Penelitian ini melakukan perancangan dan implementasi kontrol PID pada proses level berbasis mikrokontroler ATmega328p. Perancangan kontrol PID dilakukan dengan metode Ziegler-Nichols berdasarkan hasil bumptest. Hasil perancangan kontrol PID diimplementasikan dalam program Arduino yang terintegrasi dengan ESP3286 sehingga pengendalian dan pemantauan dapat dilakukan via website dengan komunikasi internet. Secara umum, hasil implementasi kontrol PID pada prototype menunjukkan bahwa respon sistem kontrol memiliki karakteristik: masih terdapat *overshoot*, *zero offset*, dan *settling time* sekitar 125 detik. Sistem kontrol PID mampu mengatasi *disturbance* yang diberikan dengan menyesuaikan bukaan kontrol valve. Pada saat kondisi tunak, masih terdapat *ripple* nilai PV sebesar 1 cm. Hal ini muncul akibat *floating* nilai pengukuran level oleh sensor ultrasonik sehingga menyebabkan bukaan valve juga mengalami *floating*. Penggunaan sensor dengan *reliability* yang lebih tinggi sangat disarankan dalam penelitian berikutnya. Pengembangan ke depan dapat dilakukan pada pemodelan proses dengan memperbanyak data proses dan menggunakan metode yang lebih *advance* untuk mendapatkan model yang

lebih baik dalam mencerminkan dinamika proses aktual. Dengan mendapatkan model yang tepat, amak kontroler PID dapat dirancang dengan metode perancangan berbasis model.

Daftar Pustaka

- Dehghani, A., & Khodadadi, H. (2017). Designing a neuro-fuzzy PID controller based on smith predictor for heating system. *International Conference on Control, Automation and Systems, 2017-October (Iccas)*
- Ibarra, D., Ganzarain, J., & Igartua, J. I. (2018). Business model innovation through Industry 4.0: A review. *Procedia Manufacturing, 22*, 4–10.
- Rani, D. D. P., Suresh, D., Rao, P., Akram, C. H. M., & Hemalatha, N. (2021). Materials Today: Proceedings IoT based smart solar energy monitoring systems. *Materials Today: Proceedings, xxxx*.
- Ravy, J. U., Septiani, N. A., Dewi, A. K., & Wardhana, A. S. (2021). Evaluasi Kinerja Controller Design PI Sistem Pengendalian Level Pada Centrifugal Preparation Tank. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Dan Mineral, 1*, 1–11.
- Ray, P. P. (2016). Creating Values out of Internet of Things: An Industrial Perspective. *Journal of Computer Networks and Communications, 2016*.
- Santos, L., Brittes, G., Fabián, N., & Germán, A. (2018). International Journal of Production Economics The expected contribution of Industry 4 . 0 technologies for industrial performance. *Intern. Journal of Production Economics, 204*(July), 383–394.
- Sheng, N., Chen, X., Ge, H., & Li, D. (2019). Optimal interval type 2 fuzzy PID controller and its application in inverted pendulum system. *Proceedings of 2019 IEEE 2nd International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering, AUTEEE 2019*, 635–637.
- Singh, J., Chatterjee, K., & Vishwakarma, C. B. (2018). Two degree of freedom internal model control-PID design for LFC of power systems via logarithmic approximations. *ISA Transactions, 72*(December), 185–196.
- Tseng, M., Tan, R. R., Chiu, A. S. F., Chien, C., & Chi, T. (2018). Resources , Conservation & Recycling Circular economy meets industry 4.0: Can big data drive industrial symbiosis. *Resources, Conservation & Recycling, 131*(December 2017), 146–147. h
- Xu, L. Da, He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in Industries : A Survey. *IEEE Transaction on Industrial Informatics, 10*(4), 2233–2243.