



# PENERAPAN FGS-PID PADA *MUFFLE FURNACE* UNTUK KENDALI TEMPERATUR PEMBAKARAN SILIKA SEKAM PADI

Mochamad Yusuf Santoso<sup>\*1</sup>, Sryang Tera Sarena<sup>2</sup>

<sup>\*1</sup>Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya

e-mail: <sup>\*1</sup>[yusuf.santoso@ppns.ac.id](mailto:yusuf.santoso@ppns.ac.id), <sup>2</sup>[sryang.tera@ppns.ac.id](mailto:sryang.tera@ppns.ac.id)

## Abstrak

Pada proses penggilingan padi, sekitar 20-22 persen dari berat padi akan menjadi sekam. Salah satu potensi dari sekam padi adalah kandungan silikanya. Untuk menghasilkan silika tersebut, dapat dilakukan dengan cara ekstraksi alkalin atau dengan membakar sekam di dalam tungku. Namun, pembakaran sekam padi untuk mendapatkan silika amorf membutuhkan temperatur dan waktu pembakaran yang tepat. Untuk mengendalikan temperatur ruang pembakaran seperti yang diinginkan, peran dari operator tungku menjadi sangat penting. Beberapa studi pengendalian tungku pembakaran telah dilaksanakan, baik teknik konvensional (kendali PID) maupun teknik kendali modern. Penelitian ini akan mengaplikasikan teknik kendali gabungan konvensional dan modern, yaitu FGS-PID, untuk mengontrol temperatur pembakaran sekam padi. Berdasarkan hasil simulasi, teknik FGS-PID memberikan performansi yang lebih baik dibandingkan dengan kendali PID konvensional, baik untuk tungku yang kosong maupun saat pembakaran sekam padi.

**Kata kunci**— Sekam Padi, Tungku, FGS-PID, Temperatur, Kendali

## Abstract

*In the process of rice milling, rice husk is produced about 20-22% of the weight of rice. One potential of rice husk is its silica content. To obtain the silica, it can be performed by alkaline extraction or by burning in the furnace. However, the burning of rice husk to produce amorphous silica requires proper temperatur and combustion time. To control the temperatur within the combustion chamber as desired, the role of the operator becomes very important. Some studies on furnace control have been carried out, both conventional control techniques (PID control) and modern control. This study will apply a combination of conventional and modern control scheme, i.e. FGS-PID control method, for controlling the temperatur of rice husk combustion. From simulation results, FGS-PID has better performance than conventional PID controller, both for empty furnace and rice husk combustion.*

**Keywords**— *Rice Husk, Muffle Furnace, FGS-PID, Temperature, Control*



## 1. PENDAHULUAN

Selain sektor maritime, pertanian merupakan salah satu focus pemerintah Indonesia saat ini. Padi merupakan salah satu komoditas pertanian utama. Pada proses penggilingan padi akan dihasilkan sekitar 20% sekam padi [1]. Umumnya, sekam padi ini akan dibakar oleh petani. Kebiasaan ini tidak hanya merugikan secara ekonomi, namun juga akan memberikan dampak pada lingkungan. Dampak pembakaran tersebut dapat berupa gas beracun dan degradasi aktivitas mikroba dalam tanah [2], [3].

Sekam padi memiliki potensi untuk menghasilkan silika. Kandungan silikanya dapat mencapai 94% [4], [5]. Salah satu cara untuk menghasilkan silika adalah pembakaran pada tungku (*furnace*) [6]. Untuk menghasilkan silika amorf, dibutuhkan temperatur dan waktu pembakaran yang tepat. Kondisi paling umum untuk mendapatkan silika amorf adalah temperatur pembakaran 500 °C sampai 700 °C dengan waktu pembakaran 12 jam [7]. Namun, tidak mudah untuk mendapatkan temperatur pembakaran yang sempurna karena pada saat dibakar, sekam padi juga menghasilkan panas. Panas di dalam *furnace* akan meningkat, sehingga akan terjadi perbedaan antara temperatur di dalam *furnace* dengan temperatur yang sudah diatur.

Silika amorf dengan ukuran dan reaktivitas yang bagus dapat dihasilkan dengan mengendalikan proses pembakaran [8]. Operator memegang peranan penting untuk mengendalikan kondisi ruang pembakaran. Akan tetapi, pelibatan operator selama lebih dari 8 jam waktu pembakaran akan menjadi tidak efisien [9]. Sehingga dibutuhkan sebuah strategi kendali untuk pengendalian proses pembakaran [10].

*Furnace* merupakan salah satu objek kendali non-linier. Teknik kendali yang paling banyak digunakan untuk *furnace* adalah skema kendali linier, yaitu Proportional-Integral-Derivative (PID) [11]. Parameter kendali umumnya ditala oleh operator untuk kondisi objek yang spesifik. Ketika keadaan *furnace* berubah (misal, perubahan temperatur acuan, perubahan beban panas), parameter tersebut tidak lagi sesuai dengan proses pembakaran di

dalam *furnace* [12].

Saat ini, kombinasi berbagai skema kendali dengan memanfaatkan masing-masing kelebihanya menajdi tren [13]. *Fuzzy Gain Scheduling – Proportional Integral Derivative* (FGS-PID) [14] merupakan sebuah metode kendali non-linier yang memanfaatkan aturan *fuzzy* untuk mendapatkan parameter kendali PID. Sistem *fuzzy* akan menala sinyal kendali secara otomatis berdasarkan sinyal *error* dan *error rate*.

Penelitian ini akan menerapkan FGS-PID untuk mengendalikan temperatur pembakaran sekam padi pada *muffle furnace*. Skema kendali ini akan menyesuaikan perubahan kondisi sistem atau lingkungan, yaitu panas yang dihasilkan oleh sekam padi di dalam *furnace*. Sehingga, silika amorf yang bagus dapat dihasilkan dan pelibatan operator dapat dikurangi.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Model Matematis *Muffle Furnace*

Model matematis *muffle furnace* digunakan untuk proses simulasi. Pada penelitian ini, model matematis yang digunakan berdasarkan model pada [15]. Model matematis ini didasarkan pada prinsip kesetimbangan panas dan perpindahan panas. Pada pemodelan ini, diasumsikan bahwa perpindahan panas terjadi secara konveksi dan radiasi. Selain itu, dianggap tidak ada panas yang keluar dari ruang bakar.

Panas yang terjadi pada ruang bakar berasal dari elemen pemanas listrik ( $q_{el}$ ). Panas kemudian mengalir melalui dinding *muffle* melalui proses konveksi. Variabel kendali pada penelitian ini adalah temperatur ruang pembakaran. Nilai temperatur didapatkan dari hasil pengukuran sensor termokopel. Sensor akan mendapatkan panas dari dinding dan gas di dalam ruang pembakaran. Selain nitrogen, gas karbondioksida juga ditambahkan ke dalam sistem. Karbondioksida dihasilkan dari pembakaran sekam padi [16].

Pemodelan kesetimbangan panas ditunjukkan pada Persamaan (1) sampai (4). Detil persamaan perpindahan panas ditunjukkan pada Persamaan (5) sampai (9). Tabel 1 menunjukkan penamaan dari symbol, sedangkan pada Tabel 2 ditunjukkan arti dari

penamaan indeks pada model matematis dari ruang pembakaran.

Tabel 1 Penamaan pada Model Matematis *Muffle Furnace* [15]

Nama besaran	Simbol	Satuan
Waktu	$t$	(s)
Massa	$M$	(kg)
Panas spesifik	$c$	(J/kg.K)
Panas dari lemen pemanas	$q_{el}$	(W)
Laju panas dari kapasitans i ke kapasitans j	$q_{i,j}$	(W)
Luas permukaan panas dari kapasitans i ke kapasitans j	$S_{i,j}$	(m <sup>2</sup> )
Konduktivitas panas	$\lambda_i$	(W/m.K)
Koefisien panas konveksi dari permukaan-i ke permukaan-j	$\alpha_{ki}$	(W/m <sup>2</sup> .K)
Variable emisivitas antara permukaan-i dan permukaan-j	$\varepsilon_{i,j}$	(1)
Koefisien sudut paparan radiasi dari permukaan-i ke permukaan-j	$\varphi_{i,j}$	(1)

Tabel 2 Penamaan Indeks pada Model Matematis Ruang Pembakaran [15]

Indeks	Merujuk pada:
1	Elemen pemanas
2	<i>Muffle</i>
3	Gas
4	Termometer
$el$	Sumber daya listrik
$k$	Konveksi
$S$	Radiasi

Elemen pemanas:

$$M_1 c_1 \frac{dT_1}{dt} = q_{el} - q_{1,2} \quad (1)$$

*Muffle*:

$$M_2 c_2 \frac{dT_2}{dt} = q_{1,2} \quad (2)$$

Gas:

$$M_3 c_3 \frac{dT_3}{dt} = q_{2,3k} - q_{3,4k} \quad (3)$$

Termometer:

$$M_4 c_4 \frac{dT_4}{dt} = q_{3,4k} + q_{3,4s} + q_2 \quad (4)$$

Perpindahan panas:

$$q_{1,2} = S_{1,2} (T_1 - T_2) / (s_1/2\lambda_1 + s_2/2\lambda_2) \quad (5)$$

$$q_{2,3k} = S_{2,3} (T_2 - T_3) / \alpha_{k3} \quad (6)$$

$$q_{3,4k} = S_{3,4} (T_3 - T_4) / \alpha_{k4} \quad (7)$$

$$q_{3,4s} = \varepsilon_{3,4} ((T_3 + 273)^4 - (T_4 + 273)^4) S_{3,4} \varphi_{3,4} \quad (8)$$

$$q_{3,4s} = \varepsilon_{3,4} ((T_3 + 273)^4 - (T_4 + 273)^4) S_{3,4} \varphi_{3,4} \quad (9)$$

Nilai koefisien konveksi untuk model tersebut adalah 8 W/m<sup>2</sup>K, sedangkan emisivitas radiasi dan koefisien sudut didapatkan berturut-turut dari Persamaan (10) dan (11).

$$\varepsilon_{1,2} = 1 / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1) \quad (10)$$

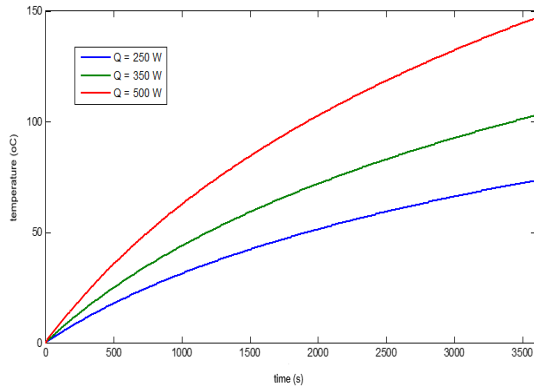
$$\varphi_{3,4} = S_4 / S_3, S_{3,4} = S_4 \quad (11)$$

Dengan menggunakan data pada Tabel 3, model matematis kemudian disimulasikan. Gambar 1 menunjukkan hasil simulasi untuk model matematis *furnace*. Temperatur *furnace* meningkat seiring dengan waktu untuk beberapa nilai daya masukan. Sehingga, dapat dikatakan bahwa model matematis tersebut dapat merepresentasikan kondisi *furnace*.

Tabel 3 Spesifikasi *Muffle Furnace* [15]

Elemen pemanas:	Gas (Nitrogen):
Massa jenis $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) = 1071	Massa jenis $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> ) = 1.25·273(T <sub>13</sub> +273)
Panas spesifik $c$ (J/kg.K) = 934	Specific heat $c$ (J/kg.K) = 1043
Konduktivitas panas $\lambda$ (W/m.K) = 0.417	
Diameter (m) = 0.016	
Panjang (m) = 30.3	

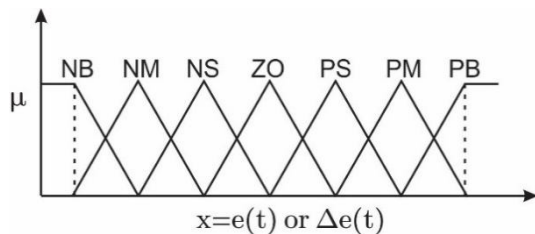
<p><b>Muffle:</b></p> <p>Massa jenis <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>) = 1900                  Panas spesifik <math>c</math> (J/kg.K) = 934                  Konduktivitas panas <math>\lambda</math> (W/m.K) = 1.12                  Emisivitas <math>\epsilon</math> (1) = 0.85</p>	<p><b>Thermometer:</b></p> <p>Massa jenis <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>) = 4000                  Panas spesifik <math>c</math> (J/kg.K) = 700                  Emisivitas <math>\epsilon</math> (1) = 0.65                  Diameter (m) = 0.002                  Panjang (m) = 0.050</p>
--	---



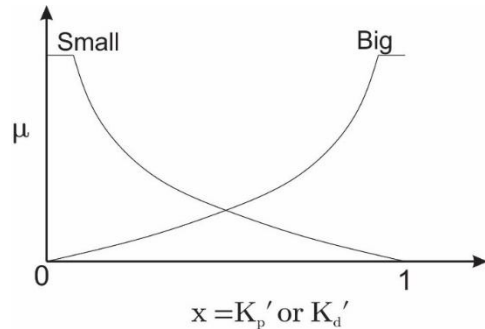
Gambar 1 Respon muffle furnace untuk daya masukan yang berbeda

2.2 Skema Kendali FGS-PID

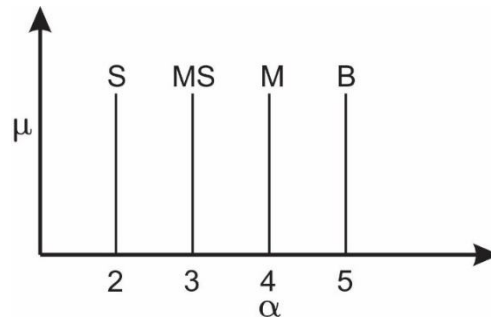
Salah satu metode yang digunakan untuk mengatur nilai *gai* secara otomatis berdasarkan kondisi lingkungan adalah FGS-PID. Metode ini menggabungkan keunggulan dari sistem *fuzzy* dalam hal adaptasi dan kendali PID dalam hal kesederhanaan pada kendali. Sistem *fuzzy* menggunakan basis aturan untuk menala tiga parameter PID. Terdapat tiga sistem *fuzzy* yang dirancang, yaitu *fuzzy* Kp' untuk mendapatkan nilai Kp, *fuzzy* Kd' untuk mendapatkan nilai Kd, dan *fuzzy* alfa ( $\alpha$ ) untuk mendapatkan nilai Ki. Gambar 2 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk sistem *fuzzy*, sedangkan Gambar 3 menampilkan fungsi keanggotaan keluaran sistem *fuzzy* Kp' dan Kd', sedangkan Gambar 4 untuk *fuzzy* alfa.



Gambar 2 Fungsi keanggotaan masukan *fuzzy* [14]



Gambar 3 Fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy* Kp' dan Kd' [14]



Gambar 4 Fungsi keanggotaan keluaran *fuzzy* α [14]

Pada proses fuzzifikasi, fungsi keanggotaan untuk masukan adalah segitigayang terdiri dari tujuh fungsi keanggotaan: N merepresentasikan *Negative*, P untuk *Positive*, ZO untuk *Zero*, S untuk *Small*, M untuk *Medium*, PB untuk *Positive Big*, dan seterusnya.

Untuk keluaran, *fuzzy* Kp' dan *fuzzy* Kd' memiliki dua fungsi keanggotaan: *Big* dan *Small* yang didefinisikan pada Persamaan (12). Untuk *fuzzy* α, fungsi keanggotaan keluarannya adalah *singleton*, yang terdiri dari *Small* (M), *Medium Small* (MS), *Medium* (M) dan *Big* (B).

$$\mu_{small}(x) = -\frac{1}{4} \ln x \quad (12a)$$

$$\mu_{big}(x) = -\frac{1}{4} \ln(1-x) \quad (12b)$$

Nilai dari Kp', Kd', dan α ditentukan dengan menggunakan aturan *fuzzy*. Aturan

*fuzzy* yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan (13).

$$\text{if } e(t) \text{ is } A_i \text{ and } \Delta e(t) \text{ is } B_i, \text{ then } K_p' \text{ is } C_i, K_d' \text{ is } D_i, \text{ and } \alpha = \alpha_i \quad (13)$$

dimana:  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $e(t)$  adalah sinyal *error*, i.e. perbedaan antara set-point dan nilai pengukuran;  $\Delta e(t)$  adalah laju *error*.

Basis aturan didapatkan dari respon waktu proses yang diinginkan. Misalnya, jika sinyal kendali yang besar dibutuhkan untuk menghasilkan *rise rime* yang cepat, kendali PID harus memberikan *proportional gain* yang

besar, *integral gain*, *integral gain* yang besar dan *derivative gain* kecil. Hasilnya,  $K_p'$  diatur menjadi *Big*,  $K_d'$  diatur menjadi *Small*, dan  $\alpha$  diatur menjadi 2 atau S. Contoh lain, untuk menghindari *overshoot* yang besar, sinyal kendali yang kecil harus dihasilkan. Maka,  $K_p'$  diatur menjadi *Small*,  $K_d'$  diatur menjadi *Big*, dan  $\alpha$  diatur menjadi B. Aturan ini merepresentasikan *proportional gain* yang kecil, *derivative gain* yang kecil dan *integral gain* yang besar. Secara lengkap, basis aturan dari sistem *fuzzy* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Basis aturan untuk  $K_p'$ ,  $K_d'$  dan  $\alpha$  [14]

$K_p', K_d', \alpha$		Laju error, $\Delta e(t)$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
Error, $e(t)$	NB	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2
	NM	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,B,3	S,B,3
	NS	S,B,4	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,B,3	S,B,3	S,B,4
	ZO	S,B,5	S,B,4	S,B,3	B,B,3	S,B,3	S,B,4	S,B,5
	PS	S,B,4	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,B,3	S,B,3	S,B,4
	PM	S,B,3	B,B,3	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,B,3	S,B,3
	PB	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2	B,S,2

Setelah nilai  $K_p'$ ,  $K_d'$  dan  $\alpha$  didapatkan, parameter PID untuk FGS-PID dapat ditentukan menggunakan Persamaan (14). Rentang nilai  $K_p$  dan  $K_d$  pada Persamaan (14) ditentukan menggunakan aturan pada Persamaan (15).

$$K_p = (K_{p,max} - K_{p,min}) K_p' + K_{p,min} \quad (14a)$$

$$K_d = (K_{d,max} - K_{d,min}) K_d' + K_{d,min} \quad (14b)$$

$$K_i = K_p^2 / (\alpha K_d) \quad (14c)$$

$$K_{p,min} = 0.32 K_u, \quad K_{p,max} = 0.6 K_u \quad (15a)$$

$$K_{d,min} = 0.08 K_u T_u, \quad K_{d,max} = 0.15 K_u T \quad (15b)$$

dimana:  $K_u$  dan  $T_u$  merupakan *gain* dan periode dari osilasi ketika kendali proportional diterapkan pada sistem.

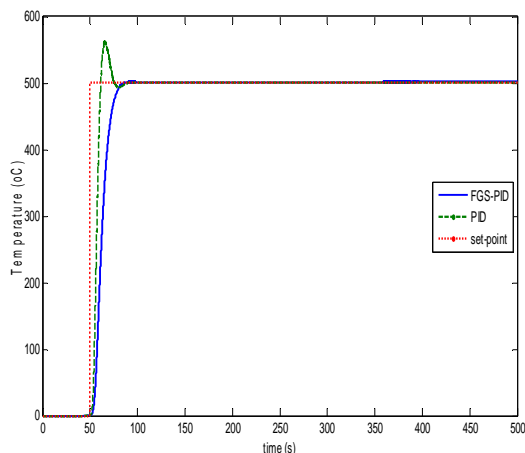
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini, FGS-PID diterapkan untuk kendali temperatur *muffle furnace*. Terdapat dua proses yang berbeda: *furnace* dalam keadaan kosong dan proses pembakaran sekam padi. Skema kendali yang

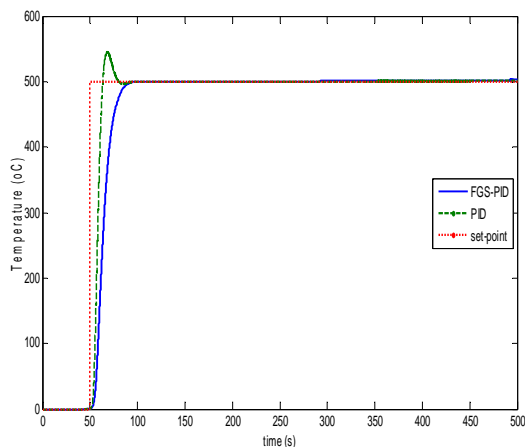
diajukan akan dibandingkan dengan kendali PID konvensional. Hasil simulasi kendali PID dan FGS-PID untuk *furnace* kosong ditunjukkan pada Gambar 5. FGS-PID memiliki 2.2434% *overshoot*, sedangkan PID menghasilkan 12.4935%. Untuk *settling-time*, metode kendali yang diajukan dapat mencapai kondisi stabil dalam 70.2326 detik, sedangkan metode pembandingnya membutuhkan waktu 79.5057 detik. Dalam hal *error steady state* (ESS), FGS-PID dan PID konvensional berturut-turut bernilai 0.3917 dan 0.8201. berdasarkan hasil tersebut, FGS-PID memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan PID konvensional yang memiliki parameter tetap.

Hasil simulasi untuk proses pembakaran sekam padi ditunjukkan pada Gambar 6. Pada bagian ini, gas karbondioksida dimasukkan ke dalam sistem. Kendali PID menghasilkan *overshoot* sebesar 9.0406%, sedangkan FGS-PID menghasilkan 0.5498%. *Settling-time* untuk kendali PID adalah 73.4633 detik, sedangkan FGS-PID dapat mencapai keadaan stabil dalam 72.6688 detik. Untuk nilai ESS PID dan FGS-PID berturut-turut adalah 0.3908 dan 1.0580. Sehingga, dapat dikatakan bahwa FGS-PID memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan kendali PID konvensional. Hal ini dikarenakan parameter kendali FGS-PID mampu beradaptasi dengan

perubahan kondisi lingkungan, sedangkan PID konvensional memiliki nilai parameter yang tetap.



Gambar 5 Hasil simulasi untuk keadaan *furnace* kosong



Gambar 6 Hasil simulasi untuk keadaan pembakaran sekam padi

#### 4. KESIMPULAN

Simulasi penerapan FGS-PID untuk kendali temperatur *muffle furnace* telah dilaksanakan. Kendali FGS-PID memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan kendali PID konvensional, baik untuk keadaan *furnace* kosong maupun proses pembakaran sekam padi. Dapat ditunjukkan bahwa FGS-PID dapat lebih beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dibandingkan dengan kendali PID konvensional.

#### 5. SARAN

Untuk pengembangan dari penelitian ini, dapat dilakukan simulasi dengan membandingkan antara FGS-PID dengan metode kendali non-linier lainnya. Saran lain,

dilakukan pembuatan prototipe *muffle furnace* yang digunakan untuk pembakaran sekam padi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan (DRPM) Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberi dukungan financial terhadap penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Shen, Y. Zhang, O. McMillan, F. Jin, and A. Al-Tabbaa, "Characteristics and Mechanisms of Nickel Adsorption on Biochars Produced from Wheat Straw Pellets and Rice Husk. Environmental Science and Pollution Research," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 24, No. 14, pp. 12809–12819, 2017.
- [2] S. D. A. Hussein and O. M. Sawan, "The Utilization of Agricultural Waste as One of The Environmental Issues in Egypt (a case study)," *J. Appl. Sci. Res.*, Vol. 6, No. 8, pp. 1116–1124, 2010.
- [3] M. I. Moussa and A. M. Abdelkhalik, "Meteorological Analysis for Black Cloud (Episodes) Formation and Its Monitoring by Remote Sensing," *J. Appl. Sci. Res.*, Vol. 3, No. 2, pp. 147–154, 2007.
- [4] R. Patil, R. Dongre, and J. Meshram, "Preparation of Silica Powder from Rice Husk," *J. Appl. Chem.*, Vol. 27, pp. 26–29, 2014.
- [5] R. Abu, R. Yahya, and S. Neon, "Production of High Purity Amorphous Silica from Rice Husk," *Procedia Chem.*, Vol. 19, pp. 189–195, 2016.
- [6] M. A. A. Rahim, M. M. Ismail, and A. M. A. Mageed, "Production of Activated Carbon and Precipitated White Nanosilica from Rice Husk Ash," Vol. 3, No. 2, pp. 491–498, 2015.

- [7] D. G. Nair, A. Fraaij, A. A. Klaassen, and A. P. Kentgens, "A Structural Investigation Relating to the Pozzolanic Activity of Rice Husk Ashes," *Cem. Concr. Res.*, Vol. 38, No. 6, pp. 861–869, 2008.
- [8] M. Monshizadeh, M. Rajabi, M. H. Ahmadi, and V. Mohammadi, "Synthesis and Characterization of Nano SiO<sub>2</sub> from Rice Husk Ash by Precipitation Method.," in *3rd National Conference on Modern Researches in Chemistry and Chemical Engineering*, 2015.
- [9] F. N. Rahmawati, Ekawati, and B. Kurniawan, "Hubungan Kebisingan dan Shift Kerja Terhadap Tingkat Stres Kerja Pada Pekerja Mesin Pembangkit SWD (Stork Werkspoor Diesel) PLTD Gunung Malang Balikpapan," *J. Kesehat. Masy.*, Vol. 5, No. 5, pp. 156–162, 2017.
- [10] U. Moon and K. Y. Lee, "Hybrid Algorithm With *Fuzzy* System and Conventional PI Control for the Temperatur Control of TV Glass Furnace," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, Vol. 11, No. 4, pp. 548–554, 2003.
- [11] E. Yuri, P. Dmitry, and G. Anton, "About Heating Plants Control System Developing on Basis of Neural Network Usage for PID-regulator Parameters Optimization," *Appl. Mech. Mater.*, Vol. 682, pp. 80–86, 2014.
- [12] Y. I. Eremenko, D. A. Poleshchenko, and A. I. Glushchenko, "On Applying Neural Tuner to PI-Controller Parameters Calculation for Heating Furnaces Control," in *2015 International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, 2015, pp. 9–12.
- [13] M. Y. Santoso, I. Munadhif, A. Wahidin, and R. T. Soelistijono, "Rudder-Roll Stabilization using FGS-PID Controller for Sigma-e Warship," *J. Phys. Conf. Ser.*, Vol. 855, No. 1, p. 012044, 2017.
- [14] Z.-Y. Zhao, M. Tomizuka, and S. Isaka, "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers," *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, Vol. 23, No. 5, pp. 1392–1398, 1993.
- [15] J. Lucák, "Experimental Verification of Model Simulation Results of Heating Cycles within the Electric *Muffle* Furnaces," *Trans. Electr. Eng.*, Vol. 5, No. 2, pp. 36–46, 2016.
- [16] A. J. Mathias, "Environmental Benefits of Biomass Energy Projects," in *Seminar on Environmental Impact of Developing Biomass Energy Projects for Power Generation/Cogeneration*, 2000.
-

