

PERANCANGAN SISTEM KONTROL *PITCH* ANGLE TURBIN ANGIN SKALA KECIL BERBASIS *IMPERIALIST COMPETITIVE ALGORITHM* (ICA)

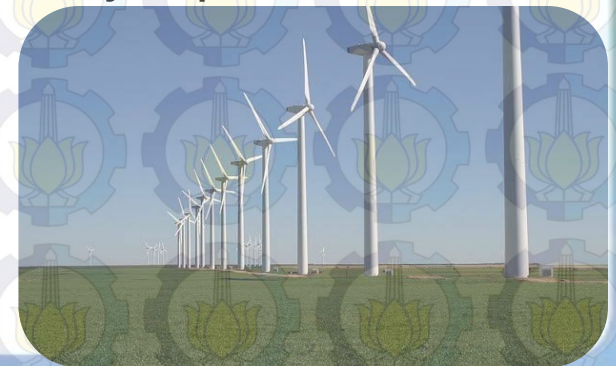
Akhmad Bakhrul Fauzi
NRP. 2410 100 055

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.sc.



LATAR BELAKANG

- ❑ Krisis energi dan upaya untuk melakukan usaha pengembangan energi alternatif (EBTKE),
- ❑ Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Turbin Angin Skala kecil.
- ❑ Energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin bergantung pada daya mekanik yang bersumber dari masukan energi kinetik angin.
- ❑ Terdapat beberapa variabel yang mempengaruhi besaran daya mekanik turbin diantaranya adalah koefisien daya (C_p). Nilai dari koefisien daya dipengaruhi oleh kecepatan angin, sudut *pitch*, dan kecepatan rotor dari turbin.
- ❑ Diperlukan sistem kontrol turbin angin. salah satunya sistem kontrol sudut *pitch* turbin angin yang diharapkan dapat mengendalikan kecepatan sudut rotor tetap stabil dan berada pada kerja optimal.



RUMUSAN MASALAH

- Bagaimana merancang sistem kontrol *pitch angle* turbin angin skala kecil berbasis *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA)?
- Bagaimana performansi sistem kontrol ICA terhadap sistem kontrol *pitch angle* turbin angin skala kecil yang dirancang?

TUJUAN PENELITIAN

- Merancang sistem kontrol pada *pitch angle* turbin angin skala kecil berbasis *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA).
- Menganalisa performansi sistem kontrol pada *pitch angle* turbin angin skala kecil berbasis *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA) yang telah dirancang.

BATASAN MASALAH

- Turbin yang digunakan bahan studi adalah prototipe turbin skala kecil yang dibuat oleh peneliti sebelumnya Farid R.M, pada tahun 2011, yaitu turbin dengan tipe bilah NREL S38n.
- Sistem kontrol *pitch angle* turbin angin dirancang berdasarkan kontrol kecepatan putar rotor turbin angin. kecepatan rotor yang maksimal diperoleh dengan sudut optimal pada kecepatan angin tertentu. Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin pada rentang 2.8 m/s – 7.5 m/s.
- Objek yang dijadikan studi hanya pada bagian mekanik turbin angin
- Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan Matlab 7.12.0 (R2011a)
- Batas parameter kontrol PID yang digunakan untuk implementasi optimasi ICA adalah nilai Kp (0.50 sampai 1.50), nilai Ki (1.00 sampai 5.00), dan nilai Kd (0.01 sampai 0.10).

Imperialist Competitive Algorithm (ICA)

1. Inisialisasi empire (kerajaan)

$$\text{country} = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}] \quad \text{cost} = f(\text{country}) = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}})$$

$$C_n = c_n - \min_i \{c_i\} \quad N.C_n = \text{round}\{p_n N_{col}\} \quad p_n = \left\lfloor \frac{c_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} c_i} \right\rfloor$$

2. Pergerakan Koloni sebuah kerajaan menuju Imperialist

3. Pertukaran posisi antara Imperialist dengan Koloni

4. Kekuatan total dari sebuah empire

$$T.C_n = \text{Cost}(\text{Imperialist}_n) + \xi \text{mean}\{\text{cost}(\text{colonies of empire}_n)\}$$

5. Kompetisi imperialist (Imperialist Competition)

6. Eliminasi empire terlemah

7. konvergensi

PEMODELAN MATEMATIKA PLANT TURBIN ANGIN

Linearisasi Dinamika Turbin Angin

$$J_t \Delta \dot{\omega} = \frac{\partial \dot{\omega}}{\partial u} \Delta v + \frac{\partial \dot{\omega}}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial \dot{\omega}}{\partial \beta} \Delta \beta$$

$$J_t \Delta \dot{\omega} = \alpha \Delta v + \gamma \Delta \omega + \delta \Delta \beta$$

$$\Delta \beta(t) = K_p \Delta \omega(t) + K_I \int \Delta \omega(t) dt + K_D \Delta \dot{\omega}(t)$$

Transformasi Laplace

$$J_t s \Delta \omega(s) = \alpha \Delta v(s) + \gamma \Delta \omega(s) + \delta \Delta \beta(s)$$

$$\Delta \omega(s) = \left[\frac{\alpha}{J_t} \Delta v(s) + \frac{\delta}{J_t} \Delta \beta(s) \right] \frac{1}{s - \frac{\gamma}{J_t}}$$

$$\Delta \beta(s) = K_p \Delta \omega(s) + K_I \frac{1}{s} \Delta \omega(s) + K_D s \Delta \omega(s)$$

$$Ft(s) = \frac{\Delta \omega(s)}{\Delta v(s)} = \frac{Bds}{(1 - BK_D)s^2 + (-A - BK_p)s + (-BK_I)}$$

Parameter Turbin Angin Skala Kecil

Kecepatan angin (m/s)	Sudut pitch Optimal	RPM Maksimum
2.80	10.35	39.58
3.80	10.37	54.28
4.10	13.10	64.38
4.80	10.15	68.96
6.50	13.16	112.83
7.00	16.19	99.02
7.50	10.87	168.09

Parameter	Nilai
Kecepatan angin	4.8 m/s
Beta (pitch angle)	10.15 deg
Kecepatan rotor	68.96 RPM
Panjang Blade	1 m
Momen Inersia rotor	1.297 kgm ²
Densitas Udara	1.25 kg/m ³

Sudut *pitch* optimal untuk kecepatan angin yang berbeda (Farid R.M, 2011)

- Fungsi Transfer Turbin Angin

$$F_t(s) = \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta v(s)} = \frac{1.2103s}{s^2 + 0.1816s}$$

- Fungsi Transfer Opto Interrupter (ITR8105)

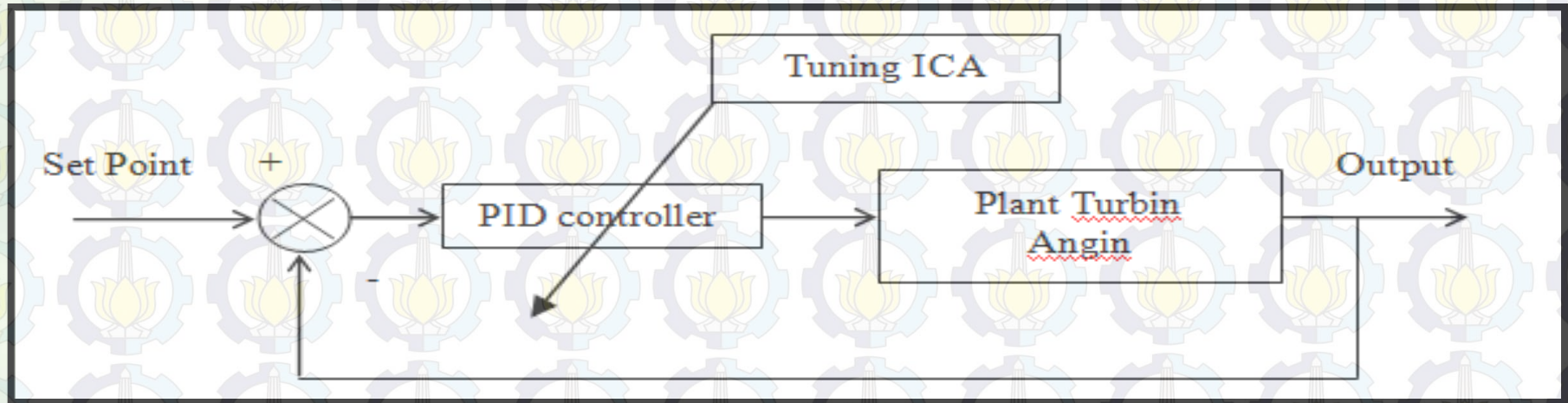
$$\frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad K = \frac{\text{Span Output}}{\text{Span Input}} = \frac{5-0}{1-0} = 5 \quad F_{\text{opto}} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{5}{0.01s + 1}$$

- Fungsi Transfer Keseluruhan Plant Turbin Angin

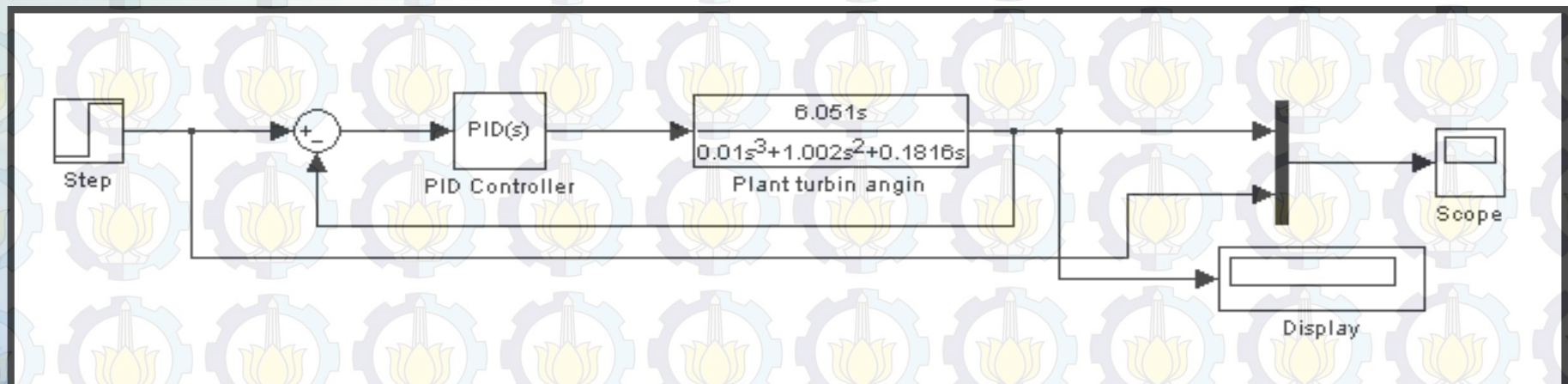
$$F_T(s) = \frac{\Delta\omega(s)}{\Delta v(s)} = \frac{6.051s}{0.01s^2 + 1.002s^2 + 0.1816s}$$

Perancangan Sistem Kontrol *Pitch Angle* Turbin Angin Skala Kecil Berbasis *Imperialist Competitive Algorithm* (ICA)

Diagram blok sistem kontrol berbasis ICA



Desain simulasi sistem kontrol pada Simulink Matlab 7.12.0 (R2011a).

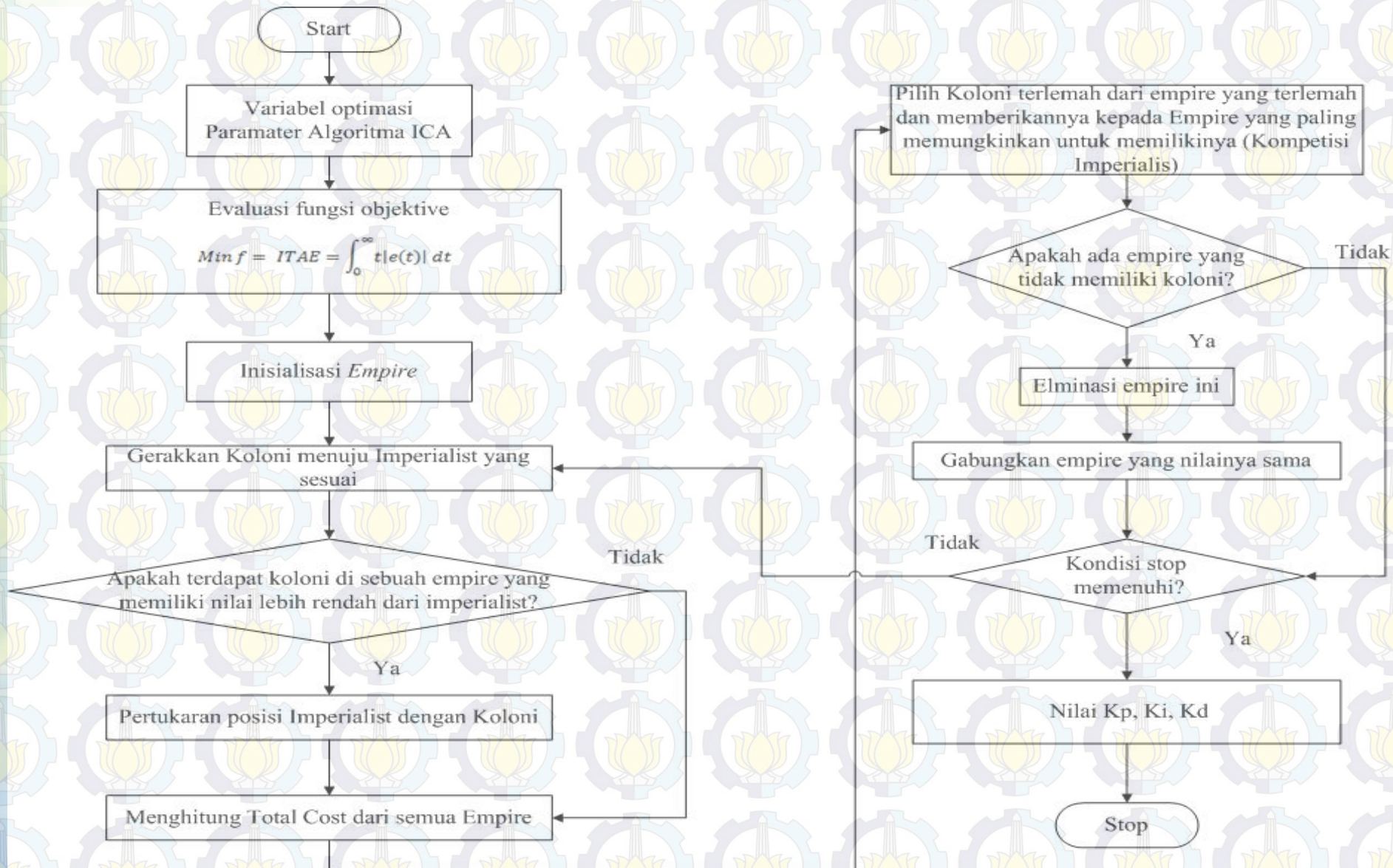


Tuning PID Menggunakan Optimasi Imperialist Competitive Algorithm (ICA)

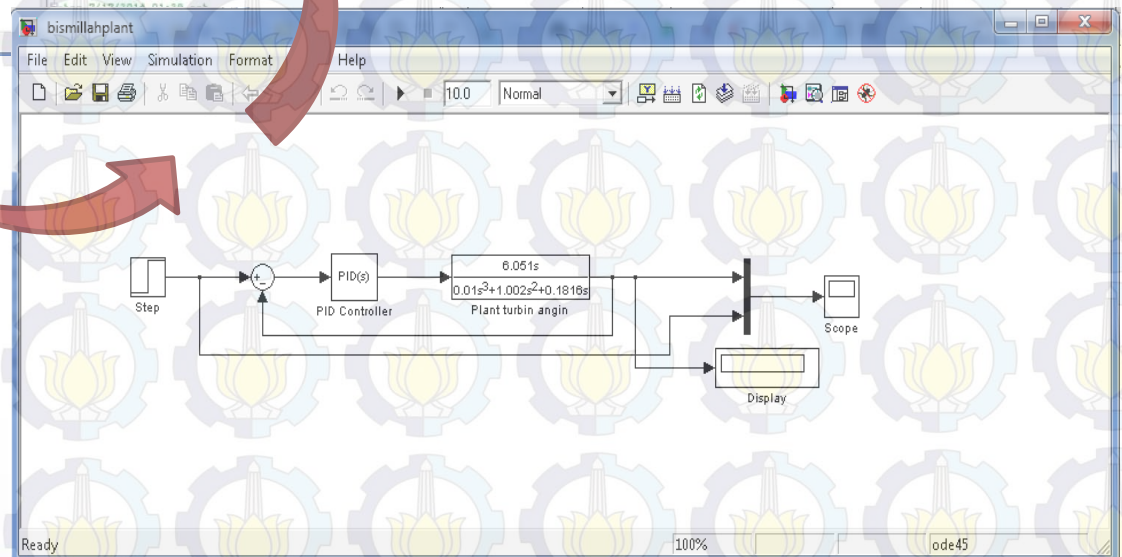
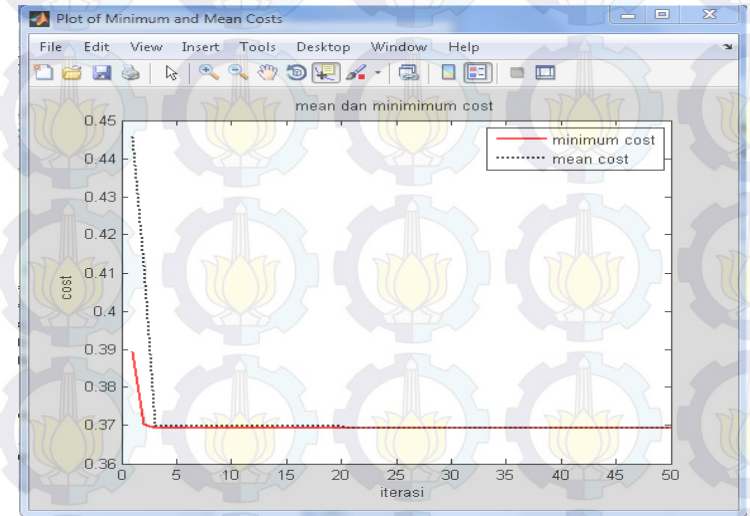
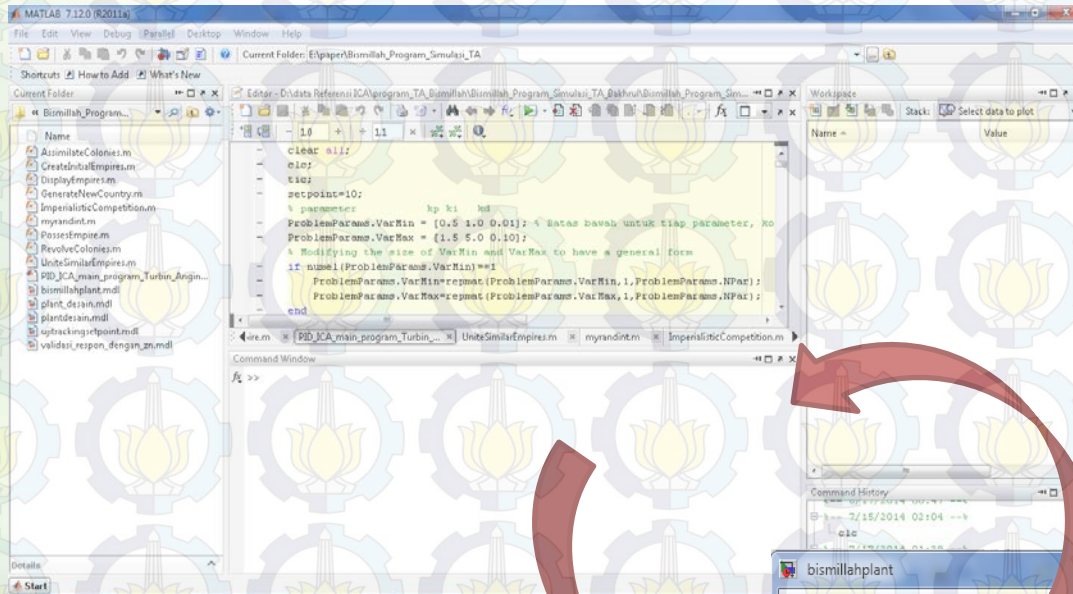
Parameter Optimasi Imperialist Competitive Algorithm

Parameter	Nilai
Jumlah Negara	50.00
Jumlah imperialis awal	5.00
Jumlah koloni	45.00
Dekade	50.00
Kecepatan Revolusi	0.30
Asimilasi (β)	2.00
Sudut Asimilasi (γ)	0.50
Zetta (ξ)	0.02
Kp	0.50 s/d 1.50
Ki	1.00 s/d 5.00
Kd	0.01 s/d 0.10

flowchart optimasi kontrol PID berbasis Imperialist Competitive Algorithm (ICA)



Tuning PID Menggunakan Optimasi Imperialist Competitive Algorithm (ICA)

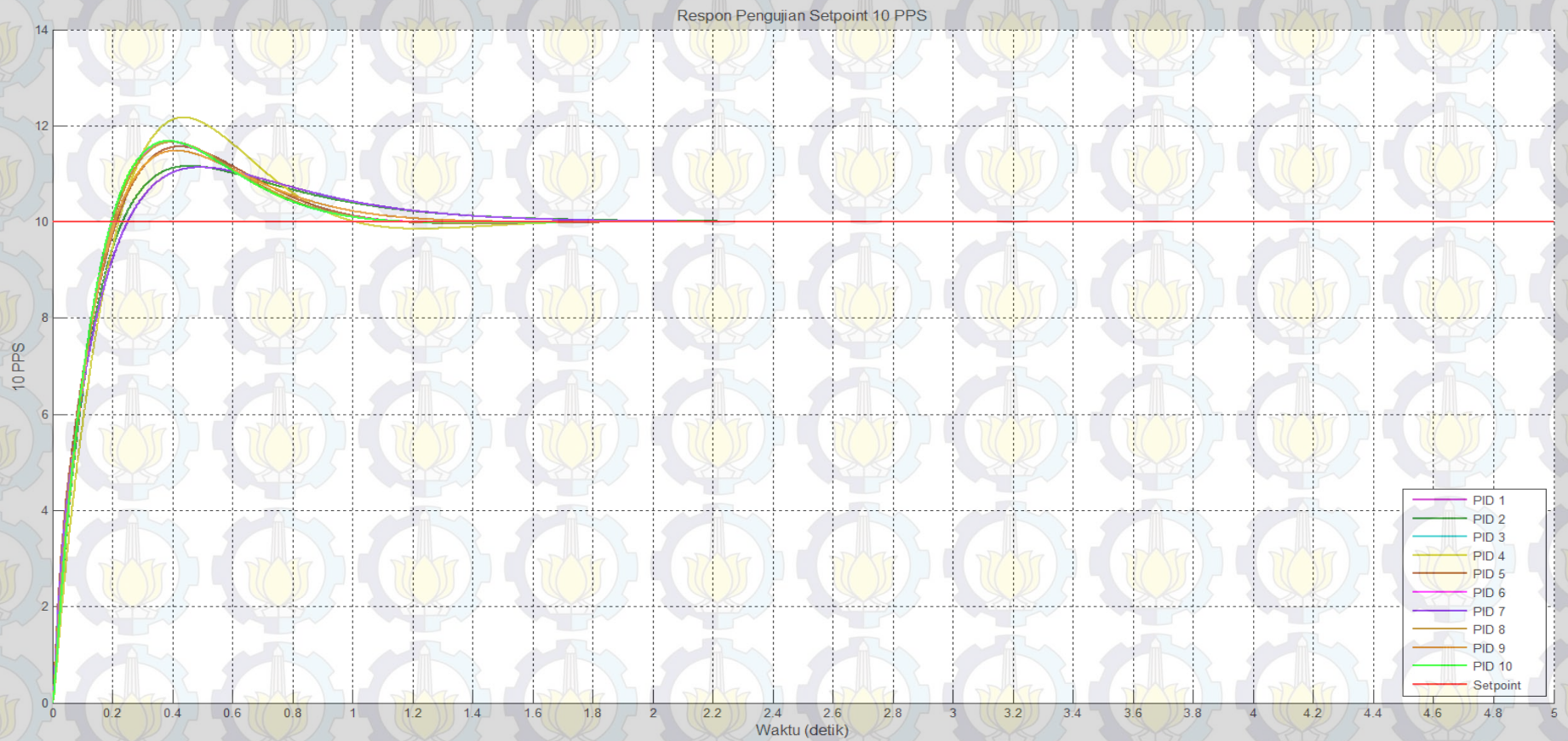


Kp, Ki, Kd

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Pengujian *setpoint* ini dilakukan dengan tiga kondisi *setpoint* yang merepresentasikan variasi kecepatan putar rotor turbin angin, kecepatan putar rotor berupa nilai pulsa pps (*pulse per second*).
- Tiga nilai setpoint adalah 10 pps, 20 pps, dan 40 pps, yang masing-masing ketiganya mewakili untuk kecepatan rendah, sedang, dan tinggi.
- Setiap *setpoint* dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali pengambilan data menggunakan optimasi ICA
- Analisa dilakukan berdasarkan data kuantitatif berupa nilai minimum ITAE , dan data kualitatif yang berdasarkan *maximum overshoot*, dan *settling time* kriteria 2% dari respon.

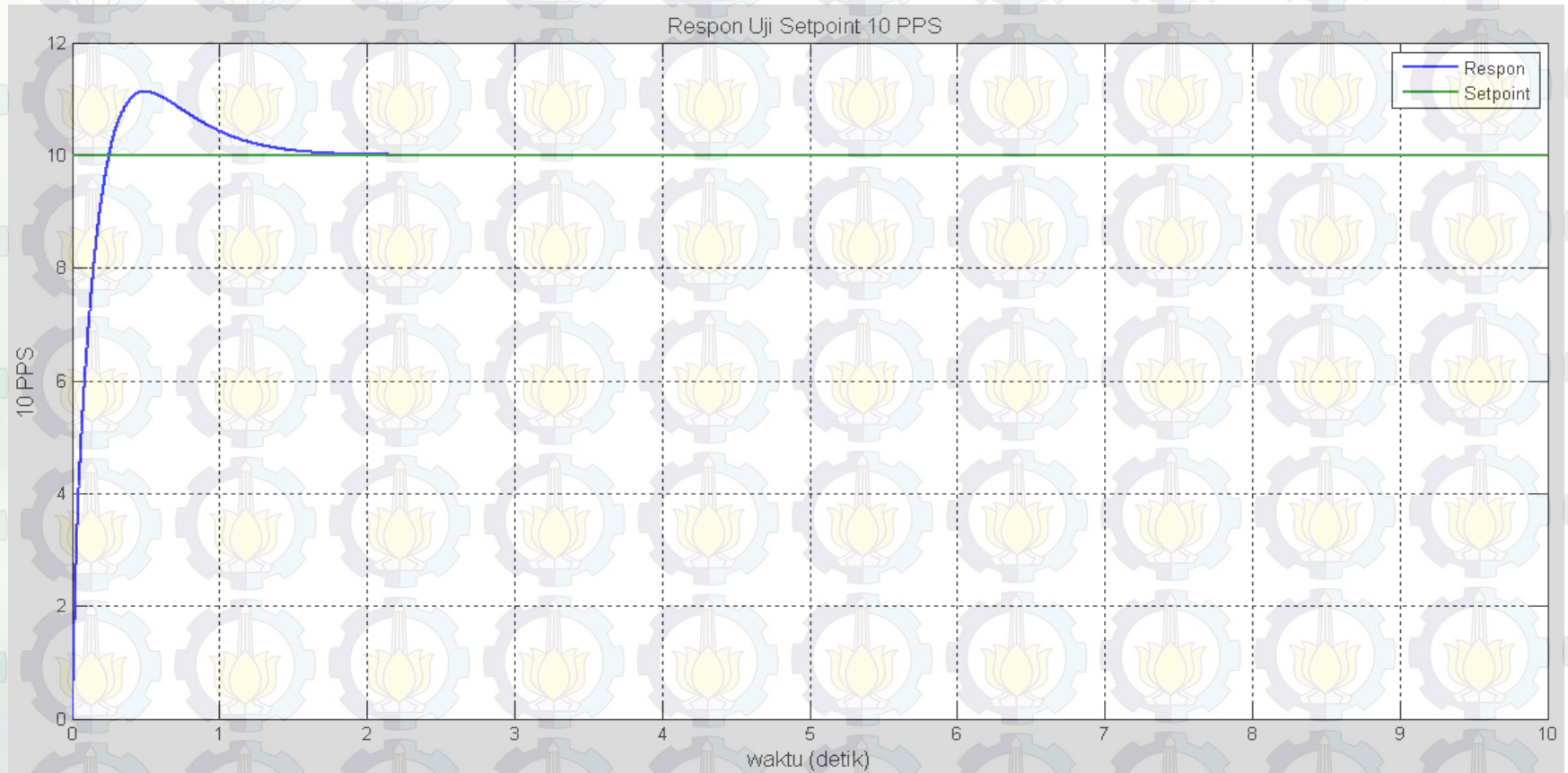
Respon Hasil Uji *Setpoint* Sebesar 10 PPS



Respon hasil uji setpoint 10 pps pada pengambilan data sebanyak 10 kali pada sistem kontrol yang dirancang menggunakan ICA

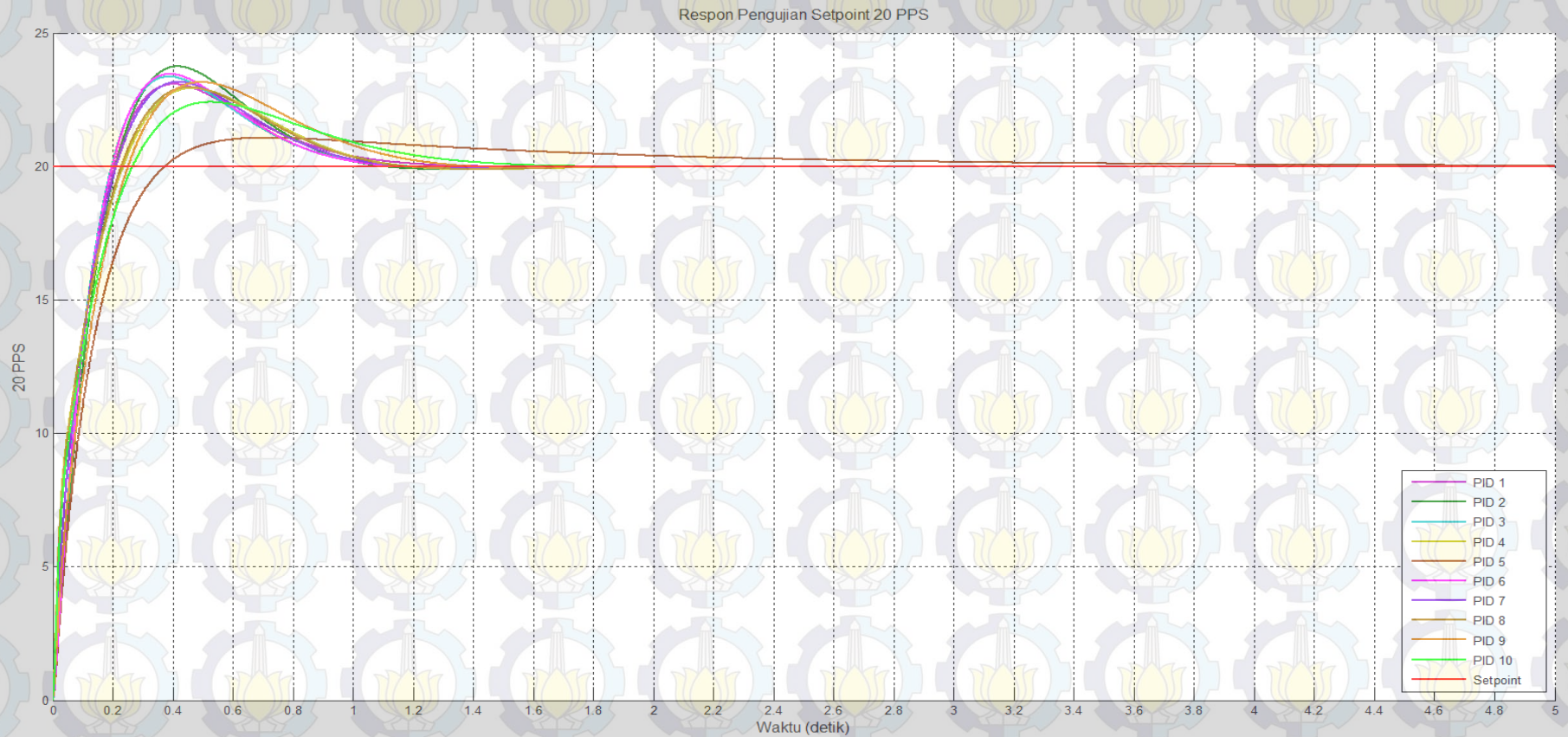
Tabel data hasil analisa kuantitatif dan kualitatif respon uji setpoint 10 pps

Data- Ke	Parameter PID Kontrol			<i><u>Settling time, t_s</u> (detik)</i>	<i><u>Maximum overshoot, M_p (%)</u></i>	ITAE
	<u>K_p</u>	<u>K_i</u>	<u>K_d</u>			
1	1.50	4.96	0.01	1.13	16.70	0.42
2	1.50	3.08	0.01	1.94	11.60	0.42
3	1.50	5.00	0.01	1.12	16.80	0.42
4	1.15	4.59	0.01	1.67	21.70	0.44
5	1.50	5.00	0.03	1.64	15.70	0.42
6	1.50	4.97	0.01	1.13	16.70	0.42
7	1.49	3.13	0.03	1.85	11.30	0.42
8	1.49	5.00	0.02	1.11	16.60	0.42
9	1.50	4.20	0.01	1.37	14.70	0.42
10	1.50	5.00	0.01	1.12	16.80	0.42



Respon terbaik hasil uji setpoint 10 pps pada sistem kontrol yang dirancang menggunakan ICA. Parameter PID kontrol, nilai $K_p=1.49$, $K_i=3.13$ dan $K_d=0.03$. Respon memberikan *maximum overshoot* sebesar 11.30 % dan *settling time* nya 1.85 detik.

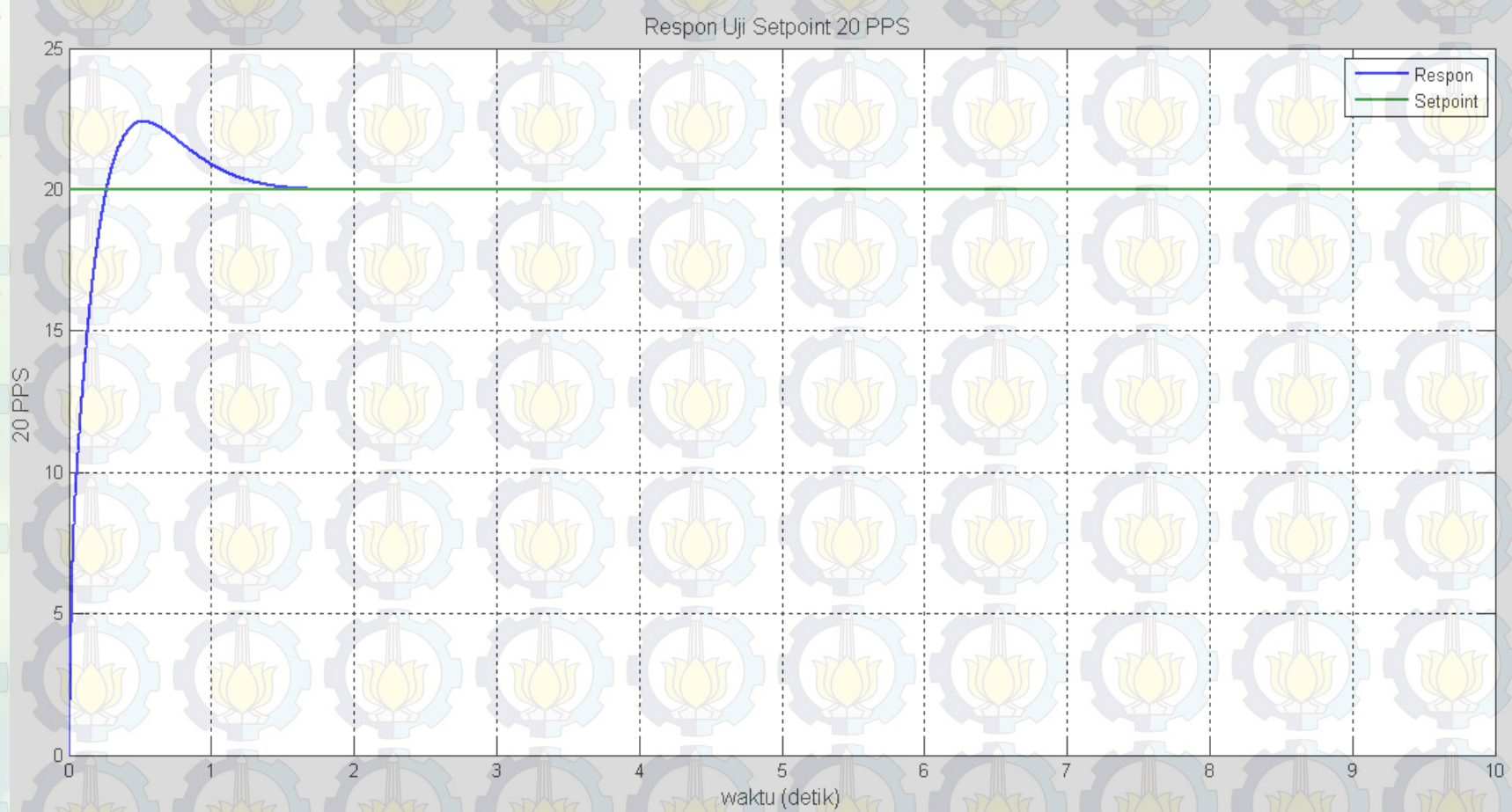
Respon Hasil Uji *Setpoint* Sebesar 20 PPS



Respon hasil uji setpoint 20 pps pada pengambilan data sebanyak 10 kali pada sistem kontrol yang dirancang menggunakan ICA

Tabel data hasil analisa kuantitatif dan kualitatif respon uji setpoint 20 pps

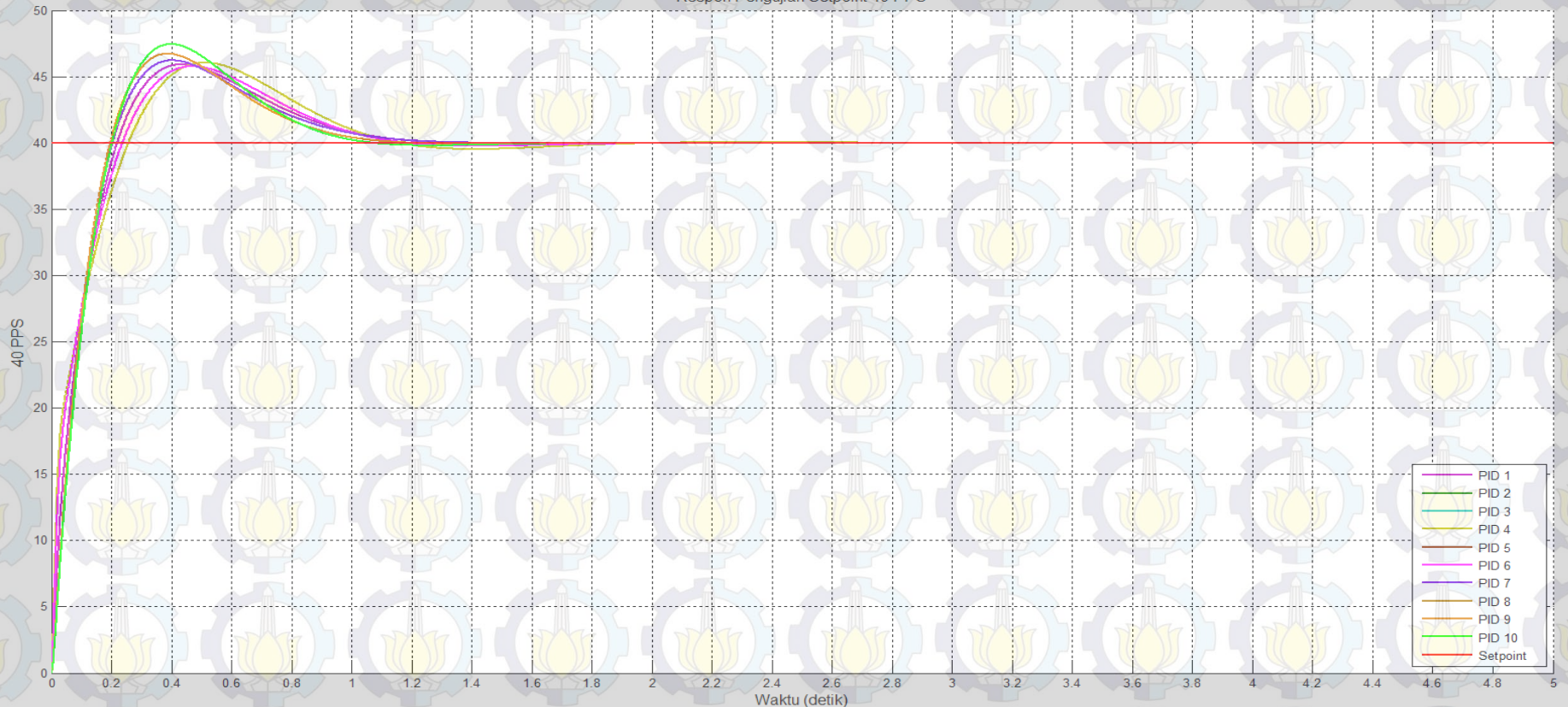
Data- Ke	Parameter PID Kontrol			<i>Settling time, t_s</i> <i>(detik)</i>	<i>Maximum overshoot, Mp (%)</i>	ITAE
	<i>K_p</i>	<i>K_i</i>	<i>K_d</i>			
1	1.50	4.44	0.01	1.34	15.40	0.85
2	1.32	4.66	0.01	1.72	18.65	0.85
3	1.50	5.00	0.01	1.17	16.80	0.85
4	1.49	5.00	0.06	1.87	14.60	0.85
5	1.27	1.00	0.01	5.18	5.35	0.85
6	1.47	5.00	0.01	1.12	17.25	0.85
7	1.50	5.00	0.03	1.72	15.80	0.85
8	1.50	5.00	0.05	1.85	14.80	0.85
9	1.25	3.52	0.02	1.38	15.75	0.85
10	1.44	3.43	0.05	1.67	12.05	0.85



Respon terbaik hasil uji setpoint 20 pps pada sistem kontrol yang dirancang menggunakan ICA. Parameter PID kontrol, nilai $K_p=1.44$, $K_i=3.43$ dan $K_d=0.05$. Respon memberikan *maximum overshoot* sebesar 12.05 % dan *settling time* nya 1.67 detik.

Respon Hasil Uji *Setpoint* Sebesar 40 PPS

Respon Pengujian Setpoint 40 PPS

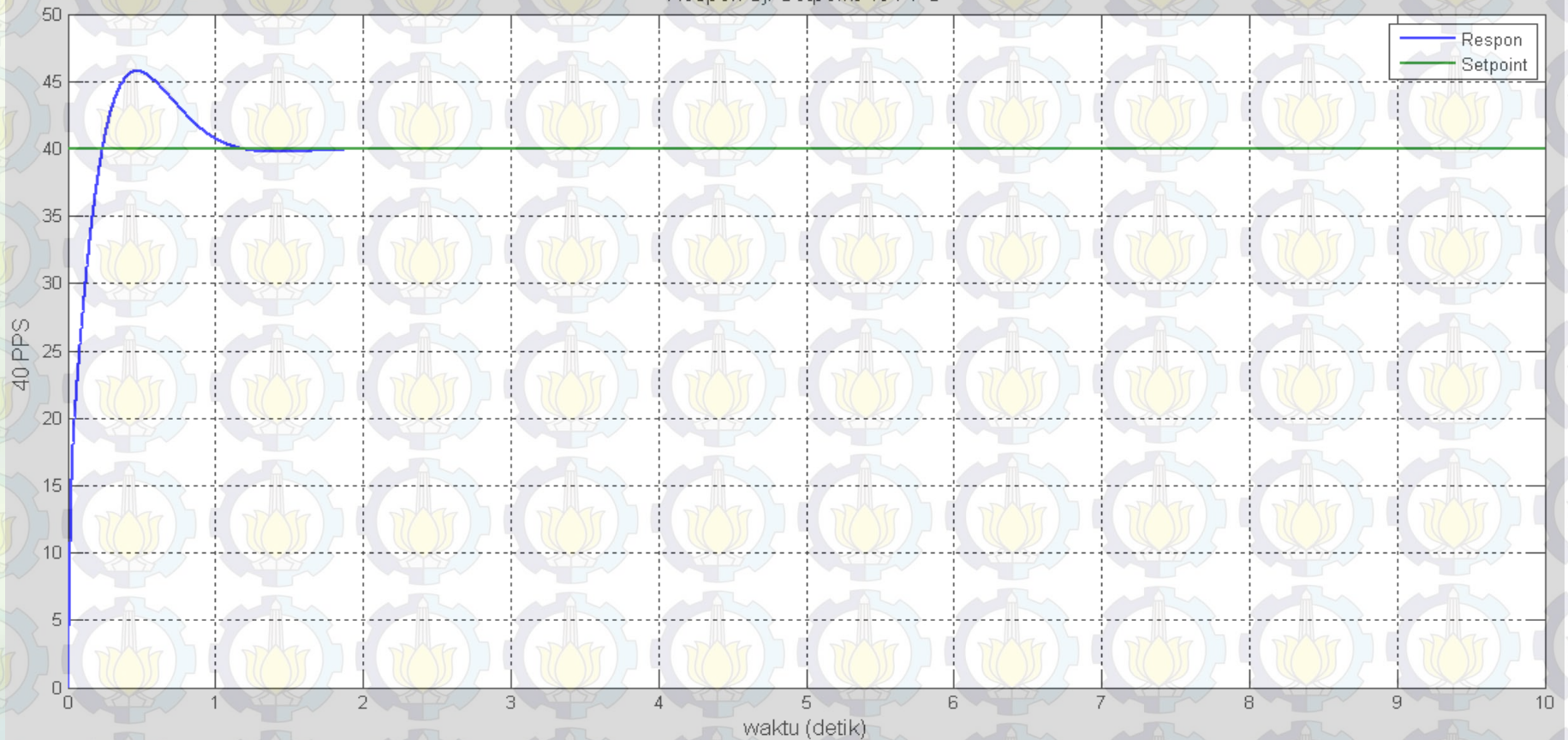


Respon hasil uji setpoint 40 pps pada pengambilan data sebanyak 10 kali pada sistem kontrol yang dirancang menggunakan ICA

Tabel data hasil analisa kuantitatif dan kualitatif respon uji setpoint 40 pps

Data- Ke	Parameter PID Kontrol			<i>Settling time, t_s</i> (detik)	<i>Maximum overshoot, Mp (%)</i>	ITAE
	<u>Kp</u>	<u>Ki</u>	<u>Kd</u>			
1	1.50	4.55	0.03	1.92	14.80	1.97
2	1.50	5.00	0.01	1.73	16.80	1.97
3	1.50	5.00	0.01	1.73	16.80	1.97
4	1.38	5.00	0.09	1.99	15.10	1.97
5	1.50	5.00	0.01	1.73	16.80	1.97
6	1.50	5.00	0.06	1.98	14.38	1.97
7	1.50	4.49	0.01	1.36	15.55	1.97
8	1.50	5.00	0.01	1.73	16.80	1.97
9	1.50	5.00	0.01	1.73	16.80	1.97
10	1.38	5.00	0.01	1.75	18.63	1.97

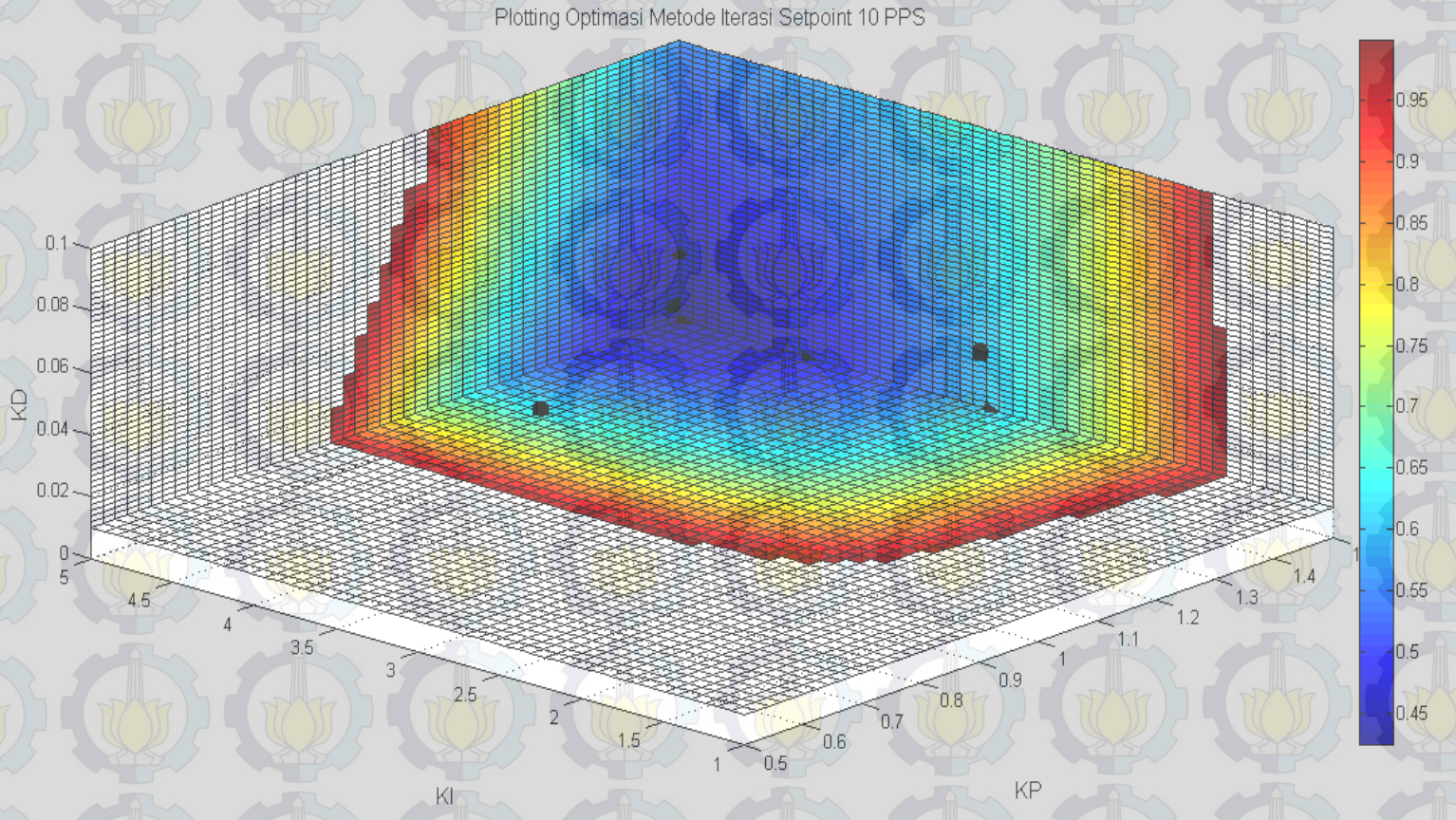
Respon Uji Setpoint 40 PPS



Respon terbaik hasil uji setpoint 40 pps pada sistem kontrol yang dirancang menggunakan ICA. Parameter PID kontrol, nilai $K_p=1.5$, $K_i=5.00$ dan $K_d=0.06$. Respon memberikan *maximum overshoot* sebesar 14.38 % dan *settling time* nya 1.98 detik.

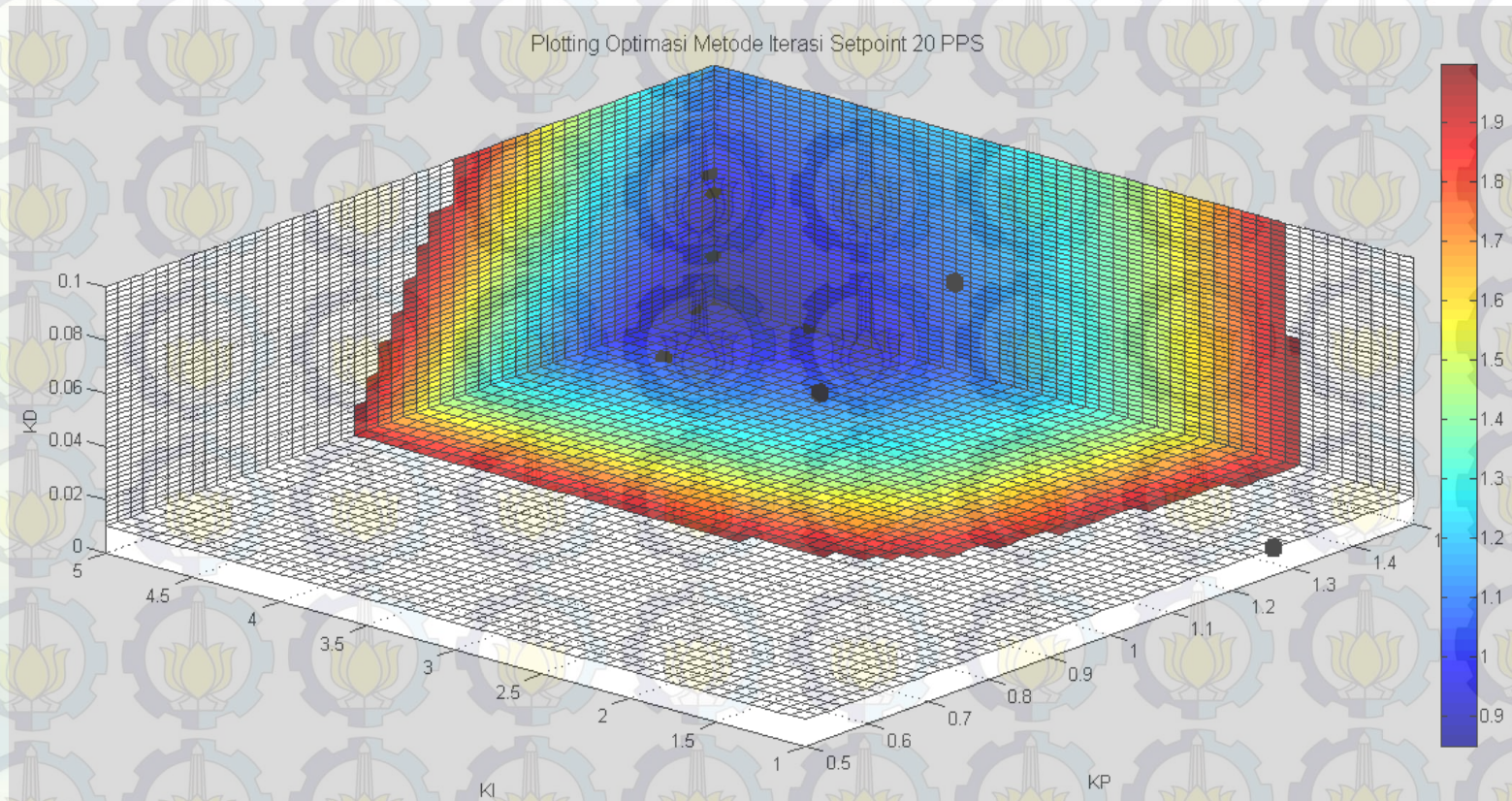
Optimasi Metode Iterasi dan Optimasi ICA

- *Plotting slice* pada uji *set point* 10 PPS



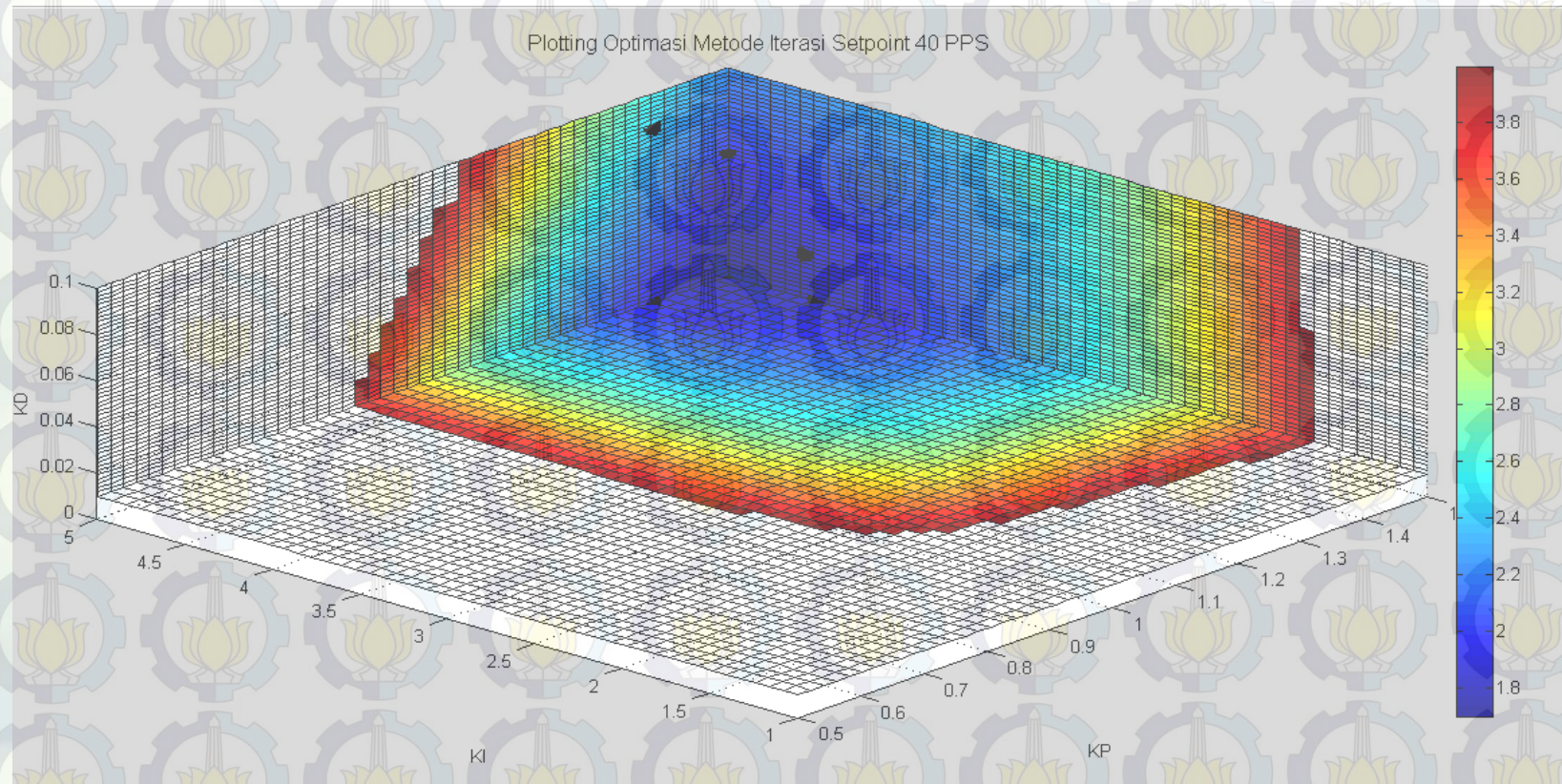
Persebaran solusi hasil optimasi menggunakan ICA (tanda titik hitam) berada di daerah nilai ITAE minimum pada setpoint 10 pps, tersebar didaerah yang berwarna biru.

- *Plotting slice* pada uji *set point* 20 PPS



Persebaran solusi hasil optimasi menggunakan ICA (tanda titik hitam) berada di daerah nilai ITAE minimum pada setpoint 20 pps, tersebar didaerah yang berwarna biru.

- *Plotting slice* pada uji *set point* 40 PPS



Persebaran solusi hasil optimasi menggunakan ICA (tanda titik hitam) berada di daerah nilai ITAE minimum pada setpoint 40 pps, tersebar didaerah yang berwarna biru.

KESIMPULAN DAN SARAN

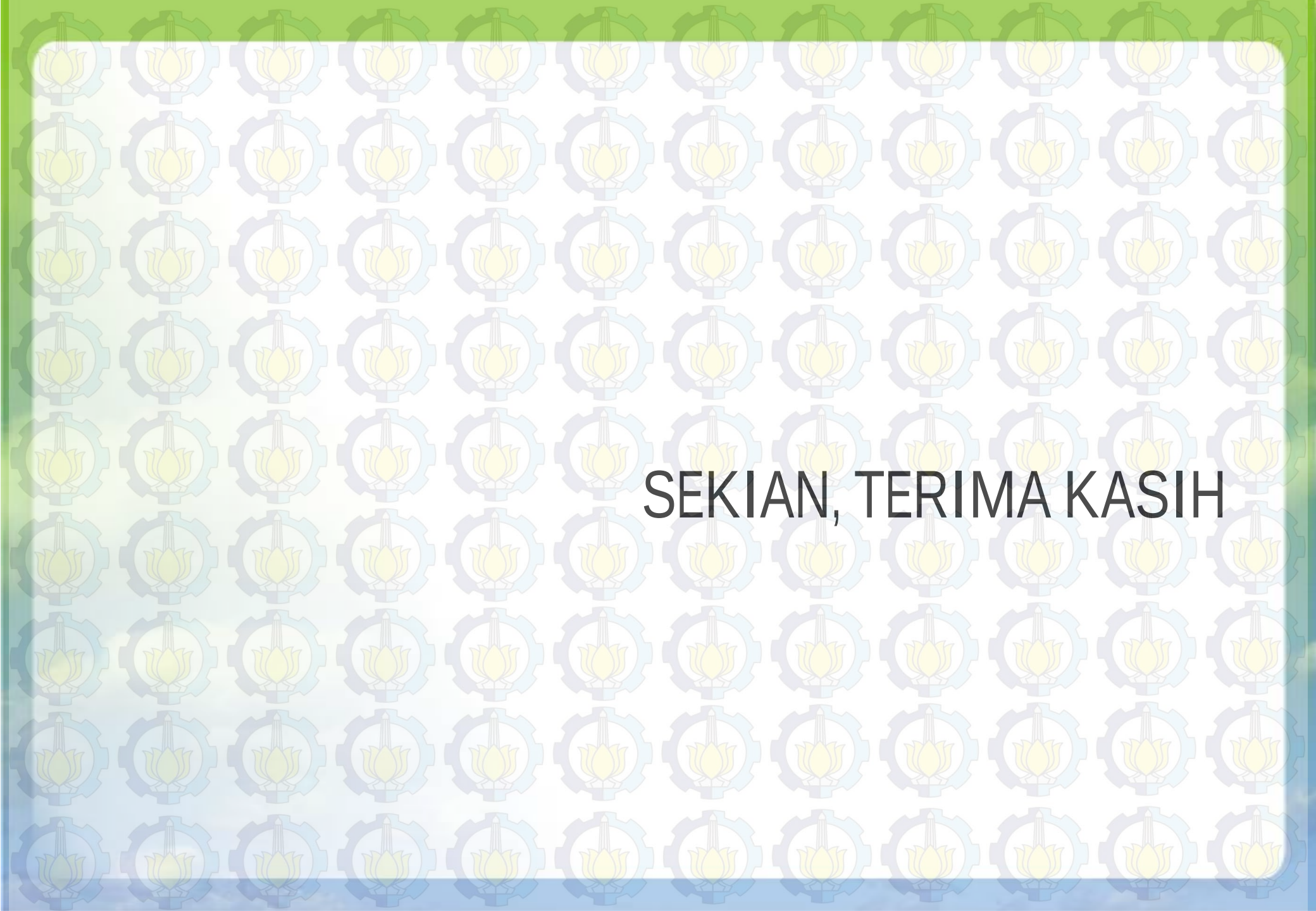
KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil pengujian pada berbagai variasi *setpoint*, sistem kontrol yang dirancang menggunakan PID yang dioptimasi menggunakan ICA mampu memberikan nilai parameter PID kontrol, berdasarkan nilai minimal fungsi objektif ITAE (*Integral Time Absolut Error*).
- Ditinjau dari analisa kuantitatif berupa nilai minimal ITAE sistem dan analisa kualitatif yang didasarkan pada lonjakan maksimal dan *settling time* yang diberikan . Sistem kontrol PID berbasis ICA yang dirancang bekerja dengan baik pada semua uji *set point*, dan pada uji *setpoint* 10 pps, sistem kontrol yang dirancang memberikan hasil terbaik dengan nilai ITAE yang lebih kecil yaitu 0.42, dan menghasilkan respon yang memiliki lonjakan maksimal yang lebih kecil, yaitu 11.30% dan *settling time* 1.85 detik.

- Berdasarkan visualisasi hasil optimasi metode iterasi, optimasi ICA sebagai metode optimasi, mampu memberikan solusi yang mendekati nilai optimalnya yang didasarkan pada nilai minimal fungsi objektifnya (ITAE).

SARAN

Perancangan sistem kontrol dengan ICA selanjutnya dapat ditambahkan fungsi objektif (fungsi evaluasi) lainnya selain ITAE untuk memperbaiki respon sistem.

The background of the slide features a repeating pattern of lotus flowers inside gears. The lotus flowers are yellow with green outlines, and the gears are light blue. The pattern is set against a light green background that transitions into a darker green at the top and a blue gradient at the bottom.

SEKIAN, TERIMA KASIH