

Implementasi Metode Deteksi Friksi Statik pada Katup Kontrol menggunakan Pencocokan Elips pada Standar IEC 61499

¹Tiar C. Wardaya, ¹Awang N.I. Wardana*) & ¹Nazrul Effendy

¹Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika

Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

(corresponding author) awang.wardana@ugm.ac.id*)

Abstrak

Sistem otomasi di industri menuntut untuk dilakukan proses perbaikan, pemantauan, dan pembaharuan yang dilakukan secara rutin. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga agar operasi di pabrik dapat dengan baik yang salah satunya ditentukan dengan performansi dari performa dari kalang kendali. Baik buruknya performa kalang kendali proses dapat mempengaruhi kualitas, kuantitas produk maupun operasional yang sangat berimplikasi kuat pada aspek ekonomi produksi pabrik. Permasalahan yang sering terjadi pada kalang kendali proses adalah osilasi tidak linier akibat katup kontrol yang mengalami friksi statik. Dampak kerusakan alat dan variabilitas proses akibat katup kontrol yang mengalami friksi statik membuat deteksi dini secara aktif dibutuhkan. Pengembangan deteksi friksi statik secara online dan cepat membutuhkan teknologi yang memadai. Standar IEC 61499 merupakan salah satu teknologi yang memungkinkan untuk digunakan dalam sistem otomasi di industri agar menjadi lebih fleksibel dan terdistribusi. Makalah ini menjelaskan implementasi metode deteksi friksi statik pencocokan elips secara online menggunakan jendela digital yang bergerak yang diimplementasikan dengan menggunakan blok fungsi berbasis standar IEC 61499. Adanya friksi statik ditandai dengan hasil kuantifikasi nilai indeks friksi statik yang membentuk grafik kontinu (konvergen) positif. Hasil validasi menunjukkan bahwa blok fungsi yang dikembangkan menghasilkan dengan akurasi minimum sebesar 68,37% untuk deteksi variabel proses yang tidak mengalami friksi statik dan akurasi minimum sebesar 98,86% untuk deteksi variabel proses yang mengalami friksi statis.

Kata Kunci: *Friksi statik, pencocokan elips, IEC 61499, deteksi online.*

1 Pendahuluan

Implikasi performa sistem kendali pabrik di industri proses cenderung sebanding dengan efeknya pada aspek ekonomi dan lingkungan [1]. Berdasarkan survei, 20-30% performa kalang kendali terdegradasi oleh osilasi nonlinier yang sering kali diakibatkan karena friksi statik pada katup kontrol [2,3]. Friksi statik pada katup kontrol berpotensi menyebabkan inefisiensi proses dan variabilitas pada produk yang merugikan secara finansial dan dapat mencemari lingkungan [3]. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlu upaya lebih dalam menangani permasalahan friksi statik.

Langkah awal penanganan friksi statik adalah mendeteksinya. Metode untuk mendeteksi friksi statik telah banyak dirumuskan dan dikembangkan. Choudhury dkk [4] merumuskan metode deteksi dan kuantifikasi friksi statik berdasarkan elips yang dicocokkan terhadap pola gambaran-gambaran antara variabel proses) (PV) dengan

keluaran pengendali (OP). Lebar maksimum estimasi elips yang terbentuk dirumuskan sebagai representasi friksi statik. Karra dan Karim [5] mengusulkan sistem identifikasi Hammerstein yang memanfaatkan grid parameter friksi statik dan dinamis sebagai indikator kehadiran dan kuantifikasi friksi statik. Scali dan Rossi [6] mengembangkan teknik deteksi friksi statik dengan sekma relay berbasis metode pencocokan kurva yang diusulkan oleh He dan Qin [7]. Teknik ini melakukan regenerasi data lalu melakukan pencocokan kurva sinusoidal dan segitiga. Teknik deteksi friksi statik dengan skema relay ini berkapabilitas online, tetapi memiliki tingkat akurasi yang rendah [3].

Hutabarat dkk. [8] melakukan pengembangan metode deteksi dan kuantifikasi friksi statik pada katup kontrol berbasis uji normalitas dan identifikasi sistem Hammerstein. Penelitian ini melakukan uji normalitas pada data PV lalu melakukan deteksi dan kuantifikasi friksi statik menggunakan pemodelan Hammerstein. Apabila koefisien friksi statis dan friksi dinamis bernilai positif dan posisi katup berada pada rentang seharusnya (0-100), maka katup dinyatakan terindikasi friksi statik. Pada tahap akhir penelitian ini, dilakukan implementasi terhadap data industri. Hasil validasi berdasarkan 6 data yang digunakan menunjukkan bahwa metode yang dikembangkan dapat mendeteksi dan mengkalkulasi friksi statik dengan akurat, serta dapat membedakan permasalahan friksi statik dengan permasalahan lainnya. Daniel dkk. [9] melakukan komparasi metode deteksi friksi statik pencocokan elips yang dirumuskan oleh Choudhury, dan pencocokan kurva yang dirumuskan oleh He. Berdasarkan data hasil simulasi, metode pencocokan elips unggul secara signifikan. Disimpulkan bahwa metode pencocokan elips lebih baik dibandingkan dengan metode pencocokan kurva, tetapi masing-masing metode memiliki kapabilitas diimplementasikan di industri dengan batasan-batasan tertentu.

Metode-metode deteksi friksi statik yang telah dikembangkan tersebut sebagian besar belum diimplementasikan dalam bentuk blok fungsi dalam suatu standar yang dipakai di industri. Dampak yang parah akibat friksi statik menjadi urgensi akan metode deteksi aktif (*online*) yang cepat dan tepat [9] untuk harus dikembangkan dalam bentuk suatu blok fungsi yang sesuai dengan standar yang dipakai di industri proses. Untuk itu penelitian ini akan mengimplementasikan metode deteksi friksi dapat dilakukan dengan menerapkan jendela digital yang bergeser (*sliding window*) terhadap metode pasif yang telah tersedia [10] pada suatu blok fungsi yang berbasis standar IEC 61499.

Makalah ini mempresentasikan penelitian tentang pengimplementasian metode deteksi friksi statik pencocokan elips akan dikembangkan dan diimplementasikan secara online menggunakan jendela digital pada suatu blok fungsi berbasis standar IEC 61499 [11]. Blok fungsi hasil dari implementasi metode pencocokan elips yang dikembangkan divalidasi ukuran jendela digital, waktu eksekusi, dan pengujian dengan menggunakan kumpulan data yang telah diketahui label permasalahannya.

1.1 Friksi statik pada Katup Kontrol

Friksi statik pada katup kontrol dalam kalang kendali merupakan permasalahan yang sudah umum diketahui dan sering terjadi di industri proses. Friksi statik adalah kecenderungan lengket-selip dan kelembaman katup kontrol ketika beroperasi [13]. Friksi adalah gaya yang cenderung berlawanan arah pada gerakan relatif diantara dua permukaan yang saling bersentuhan satu sama lain [12]. Friksi terbagi menjadi dua yaitu, friksi statis dan dinamis. Friksi statis adalah gaya minimum yang harus dicapai untuk melakukan gaya gerak relatif diantara dua permukaan yang bersentuhan. Sedangkan, friksi dinamik adalah gaya minimum yang dibutuhkan untuk menjaga gerakan relatif tersebut tetap berlangsung.

Friksi statis pada katup kontrol diketahui dapat terjadi karena satu atau kombinasi permasalahan fisik yaitu degradasi segel, deplesi pelumas, inklusi atau adanya material asing, aktivasi akibat gesekan permukaan logam yang mengakibatkan temperatur tinggi, dan atau pengemasan segel yang terlalu ketat diantara batang katup [3]. Resistansi akibat segel dalam kotak kemasan batang katup seringkali dianggap sebagai penyebab utama terjadinya friksi statis. Penyebab umum friksi statis lainnya adalah penyebab tidak langsung yang disebabkan oleh regulasi emisi senyawa organik volatil [2].

1.2 Metode Deteksi Friksi Statik dengan Pencocokan Elips

Metode pencocokan elips dikembangkan dan dikemukakan oleh Choudhury dkk [4]. Secara umum, friksi statis dipastikan terjadi jika pada segmen data gambaran antara variabel proses (PV) dengan keluaran pengendali (OP) terbentuk pola siklik atau elips. Apabila terbentuk pola selain siklik atau elips, dapat disimpulkan bahwa terjadi juga kesalahan pada kalang tetapi bukan karena friksi statis [4].

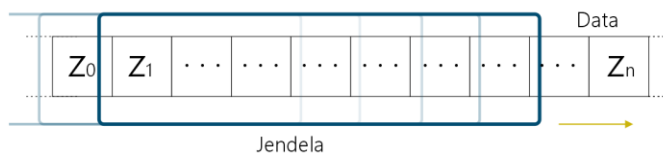
Kehadiran friksi statis yang ditunjukkan dalam pola siklik atau elips dapat dikuantifikasi dengan menghitung lebar maksimum elips (sejajar dengan OP) yang dicocokkan pada gambaran PV-OP. Persamaan kuantifikasi tersebut ditunjukkan sebagai berikut:

$$SI = \frac{2mn}{\sqrt{(m^2 \sin^2 \alpha + n^2 \cos^2 \alpha)}} \tag{1}$$

dimana m dan n adalah panjang sumbu mayor dan minor estimasi elips, α adalah sudut rotasi elips dari sumbu horizontal positif dan SI adalah indeks friksi statis. Nilai indeks friksi statis yang dihitung merupakan estimasi adanya *stiction* pada katup, karena nilainya mungkin saja memang sesuai estimasi tersebut atau berbeda dari nilai aktual. Hal tersebut dapat disebabkan karena kalang yang dinamis dalam meregulasi PV dan OP, sehingga mungkin saja kontroler telah memberikan sebagian efek kompensasi terhadap friksi statis yang terjadi.

1.3 Jendela Digital yang Bergeser

Jendela digital yang bergeser adalah suatu struktur data majemuk. Jendela digital yang bergeser adalah *sub-list* yang bergerak terhadap suatu list data [15]. Sederhananya, bayangkan sebuah pemindai bergerak yang hanya mengkomputasi segala sesuatu yang nampak pada jendela pindai saja (Gambar 1).

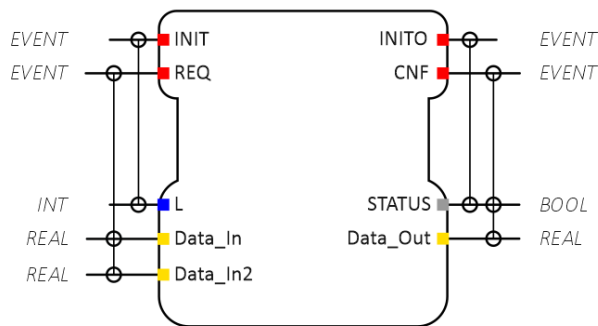


Gambar 1. Ilustrasi jendela digital yang bergeser terhadap aliran data

Metode jendela digital yang bergeser ini merupakan solusi pemrosesan aliran data secara waktu nyata (*real-time*) [14]. Ukuran jendela digital yang bergeser yang terlalu kecil dapat menyebabkan misinformasi, sedangkan ukuran yang terlalu besar dapat mengurangi sensitifitas dan akurasi [15]. Ukuran setiap jendela digital yang bergeser unik pada setiap karakter proses yang diobservasi. Penentuan ukuran jendela digital yang bergeser dapat dilakukan dengan percobaan dan galat [16].

1.4 Standar IEC 61499

Standar IEC 61499 menstandarisasi arsitektur sistem otomasi di industri yang terdistribusi. Arsitektur Standar IEC 61499 memiliki solusi berupa kemudahan operasi antar sistem, penggunaan yang berulang dan rekonfigurasi yang fleksibel terhadap aplikasi yang terdistribusi [17]. Standar IEC 61499 menstandarisasi pengembangan dalam bahasa pemrograman blok fungsi. Antar muka blok fungsi tersebut terdiri dari masukan-keluaran event dan data (Gambar 2).

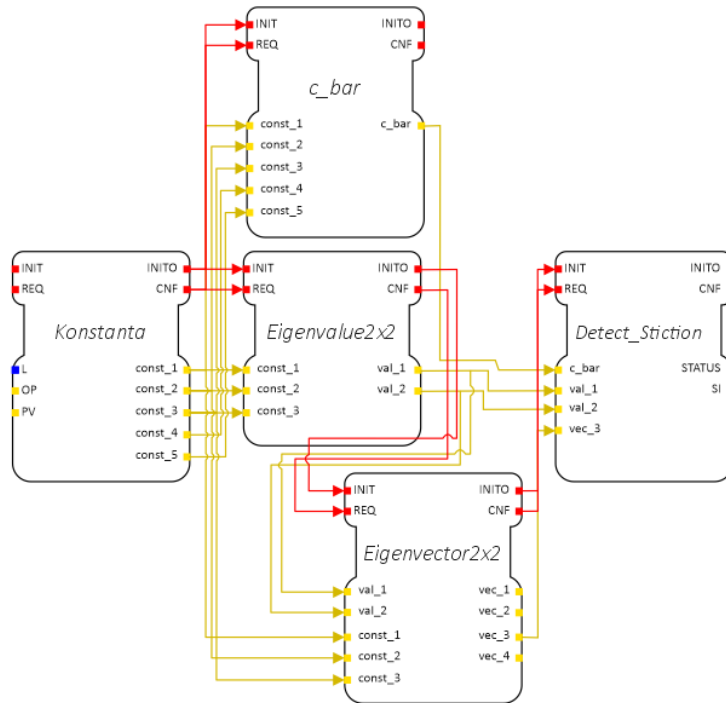


Gambar 2. Blok fungsi Standar IEC 61499 [17]

Blok fungsi dasar standar IEC 61499 terdiri dari *Execution Control Chart* (ECC) yang merupakan ruang penyusunan pernyataan kondisi dan kejadian untuk dipicu. Blok fungsi komposit terdiri dari blok fungsi – blok fungsi dasar yang dapat membentuk suatu algoritma atau metodologi [18].

2 Implementasi Blok Fungsi berbasis Standar IEC 61499

Implementasi metode pencocokan elips menjadi blok fungsi Standar IEC 61499 dilakukan dengan mengimplementasikan setiap persamaan solusi estimasi elips yang diperoleh dari penurunan persamaan kerucut [4,11]. Persamaan tersebut diimplementasikan menjadi 5 (lima) blok fungsi komposit yang dikompilasi menjadi sebuah blok fungsi *EllipseFitting* (Gambar 3).



Gambar 3. Susunan internal blok fungsi Ellipse Fitting

Blok fungsi *Konstanta* pada Gambar 3 dibuat untuk melakukan perhitungan *invers* matriks variabel serta untuk mengetahui nilai solusi matriks konstanta. Blok fungsi *Konstanta* juga mempunyai fungsi yang merupakan lokasi pengaturan ukuran jendela digital yang bergeser (L). Blok fungsi *Konstanta* diimplementasikan menjadi sebuah blok fungsi dasar dalam IEC 61499 dengan ECC yang mengimplementasikan kode sesuai dengan Algoritma 1.

Algoritma 1: Konstanta

Deklarasi

op, pv: REAL

L: INT

const_1, const_2, const_3, const_4, const_5: REAL

- INIT** | update L
- INITO** | Inisialisasi panjang himpunan (array) jendela digital
- REQ** | update op, pv
- CNF** | $\emptyset = [op^2 \ oppv \ pv^2 \ op \ pv \ 1]$
 $\theta = [const_1 \ const_2 \ const_3 \ const_4 \ const_5]^T$
 $\theta = \emptyset^{-1} \leftarrow$ Kalkulasi invers matriks (Gambar 5.3)

Blok fungsi *Eigenvalue2x2* pada Gambar 3 diturunkan dari persamaan transformasi koordinat rotasi dan pergeseran elips yang baru. Dari pergeseran tersebut dapat dilakukan perhitungan nilai eigen, vektor eigen dan \bar{c} . Perhitungan nilai eigen diimplementasikan pada blok fungsi *Eigenvalue2x2*. Implementasi pada ECC pada blok

fungsi berbasis IEC 61499 sesuai dengan Algoritma 2. Implementasi perhitungan nilai eigen pada blok fungsi IEC 61499 memerlukan informasi masukan dari matriks A yang terdiri dari $a1$, $a12$, dan $a2$ yang berturut-turut adalah keluaran blok fungsi *Konstanta const_1*, *const_2*, dan *const_3*. Blok fungsi *Eigenvalue2x2* menghasilkan dua keluaran nilai eigen *real*, yaitu val_1 dan val_2 .

Algoritma 2: Eigenvalue2x2

Deklarasi

$const_1, const_2, const_3$: REAL

val_1, val_2 : REAL

REQ update $const_1, const_2, const_3$

$$A = \begin{bmatrix} const_1 & const_2 \\ const_2 & const_3 \end{bmatrix}$$

Kalkulasi nilai eigen matriks A

CNF update val_1, val_2

Setelah nilai eigen dapat diperoleh, dilakukan perhitungan vektor eigen. Perhitungan vektor eigen diimplementasikan pada blok fungsi *Eigenvector2x2*. Nilai eigen (λ_1 dan λ_2) adalah representasi karakteristik matriks A yang diperlukan untuk melakukan perhitungan vektor eigen dalam estimasi geometri elips [14]. Implementasi perhitungan vektor eigen pada blok fungsi IEC 61499 memerlukan informasi hasil perhitungan nilai eigen dari blok fungsi *Eigenvalue2x2* dan nilai setiap komponen matriks A. Blok fungsi *Eigenvector2x2* menghasilkan empat keluaran nilai vektor eigen. Perhitungan tersebut diimplementasikan pada blok fungsi *Eigenvalue2x2*. Implementasi pada ECC pada blok fungsi berbasis IEC 61499 sesuai dengan Algoritma 3.

Algoritma 3: Eigenvector2x2

Deklarasi

$val_1, val_2, const_1, const_2, const_3$: REAL

$vec_1, vec_2, vec_3, vec_4$: REAL

REQ update $val_1, val_2, const_1, const_2, const_3$

$$A_2 = \begin{bmatrix} const_1 - val_1 & const_2 \\ const_2 & const_3 - val_2 \end{bmatrix}$$

Kalkulasi harga vektor eigen dari matriks A_2

CNF update $vec_1, vec_2, vec_3, vec_4$

Perhitungan \bar{c} dilakukan pada blok fungsi *c_bar*. Blok fungsi *c_bar* melakukan kalkulasi koordinat pusat estimasi elips baru (t) untuk memperoleh nilai \bar{c} . Pusat elips (t) dapat dihitung dengan masukan berupa matriks A dan nilai matriks b . Oleh karena itu, blok fungsi *c_bar* memerlukan masukan setiap komponen matriks A dan nilai matriks b yang merupakan semua keluaran blok fungsi *Konstanta*, dengan menyertakan perhitungan nilai t di dalamnya. Blok fungsi *c_bar* diimplementasikan menjadi sebuah blok fungsi dasar dalam IEC 61499 dengan ECC yang mengimplementasikan kode sesuai dengan Algoritma 4.

Algoritma 4: c_bar

Deklarasi

const_1, const_2, const_3, const_4, const_5: *REAL*

c_bar: *REAL*

```

REQ      update const_1, const_2, const_3, const_4, const_5
           |
           |   $A = \begin{bmatrix} const_1 & const_2 \\ const_2 & const_3 \end{bmatrix}$ 
           |  Invers matriks A
           |  Kalkulasi nilai t
           |  Kalkulasi nilai c_bar
CNF      update c_bar
    
```

Dalam estimasi geometri elips, harga vektor eigen digunakan untuk menghitung sudut rotasi elips yang berlawanan arah jarum jam dari sumbu horizontal positif [14]. Hasil perhitungan nilai eigen dan \bar{c} akan digunakan untuk menghitung panjang sumbu mayor (m) dan minor (n) estimasi elips, sehingga dapat diperoleh lebar maksimum estimasi elips menggunakan Persamaan 1. Hal tersebut merupakan produk akhir atau representasi kuantifikasi friksi statik. Perhitungan ini dilakukan pada blok fungsi *Detect_Stiction*. Implementasi pada ECC pada blok fungsi berbasis IEC 61499 sesuai dengan Algoritma 5.

Algoritma 5: Detect_Stiction

Deklarasi

c_bar, val_1, val_2, vec_3: *REAL*

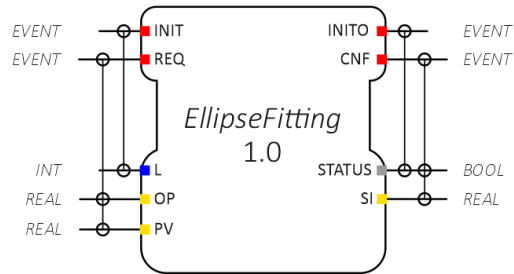
STATUS: *BOOL*

SI: *REAL*

```

REQ      update c_bar, val_1, val_2, vec_3
           |
           |  Kalkulasi panjang sumbu mayor elips
           |  Kalkulasi panjang sumbu minor elips
           |   $\alpha = \arccos(vec_2)$ 
           |
           |  Kalkulasi indeks friksi statik (SI)
           |  IF  SI > 0
           |  |
           |  |  THEN STATUS = TRUE
           |  |  ELSE
           |  |  END IF
CNF      update STATUS, SI
    
```

Hasil implementasi berupa blok-blok fungsi standar IEC 61499 dihubungkan menjadi kesatuan algoritma (Gambar 3). Susunan algoritma tersebut dikompilasi kembali menjadi satu blok fungsi *EllipseFitting* tunggal bertipe komposit (Gambar 4). Blok fungsi *EllipseFitting* kemudian diterapkan menjadi sebuah aplikasi deteksi friksi statik secara online pada perangkat lunak yang menggunakan basis standar IEC 61499.



Gambar 4. Blok fungsi *Ellipse Fitting*

3 Metode Validasi Blok Fungsi

Validasi blok fungsi dilakukan dengan menggunakan data uji berupa masukan variabel proses virtual yang berupa sinyal sinusoidal dan saturasi dan data industri dari berbagai industri [19] seperti yang dicantumkan pada Tabel 1. Variabel proses virtual sinusoidal dan saturasi dibangkitkan dengan variasi amplitudo bernilai 1, frekuensi sudut bernilai 0,1 rad/detik, fase bernilai 0, dan waktu cuplikan setiap 1 detik. Kumpulan variabel-variabel proses yang memiliki permasalahan saturasi dan friksi statis. Kumpulan variabel Industri 1 diperoleh dari dari variabel proses ketinggian pada Industri pemrosesan mineral yang didapatkan dengan waktu cuplik sebesar 10 detik. Variabel proses Industri 2 yang diukur adalah temperatur dengan waktu cuplik 20 detik dan jumlah sampel 1441 data. Kecenderungan permasalahan kalang kendali temperatur pada data yang dipublikasikan ini adalah saturasi. Variabel Industri 3 dan 5 diakuisisi dari kalang kendali bertingkat yang mengontrol konsentrasi *pulp* dengan memanipulasi katup kontrol aliran air dan katup kontrol aliran *pulp*. Diketahui bahwa katup kontrol air mengalami friksi statik yang tinggi sehingga menyebabkan osilasi pada kalang kendali. Variabel tersebut dicuplik selama 1 detik dan jumlah sampel 1196 data

Tabel 1. Data Uji

| No. | Variabel Proses | | | | |
|-----|-----------------|----------------|--------------------|-------------|----------------|
| | Nama | Jenis Variabel | Domain Industri | Jumlah Data | Masalah |
| 1. | Virtual 1 | - | - | 1000 | Osilasi Linier |
| 2. | Virtual 1 | - | - | 1000 | Saturasi |
| 3. | Industri 1 | Ketinggian | Mineral | 3241 | Saturasi |
| 4. | Industri 2 | Temperatur | Minyak dan Gas | 1441 | Saturasi |
| 5. | Industri 3 | Aliran | Produksi Kertas | 1196 | Friksi statik |
| 6. | Industri 4 | Ketinggian | Kimia | 8640 | Friksi statik |
| 7. | Industri 5 | Ketinggian | Produksi Kertas | 1147 | Friksi statik |
| 8. | Industri 6 | Ketinggian | Pembangkit Listrik | 8641 | Friksi statik |
| 9. | Industri 7 | Tekanan | Kimia | 1000 | Friksi statik |

Variabel Industri 4 diambil dari pencuplikan dilakukan pada salah satu kalang kendali ketinggian di Industri proses dengan waktu cuplik 20 detik dan jumlah sampel 8640 data. Pencuplikan variabel Industri 6 yang didapatkan dari sebuah pembangkit listrik dilakukan dengan waktu cuplik 5 detik dan jumlah sampel 8641 data. Variabel tersebut didapatkan dengan kalang kendali level suatu pembangkit listrik. Kalang kendali tersebut mengontrol

ketinggian kondensat dengan memanipulasi laju aliran kondensat cair yang dihasilkan setelah proses pada turbin. Variabel Industri 7 didapatkan di industri kimia dengan jumlah data 1000 dan waktu cuplik sebesar 30 detik.

Validasi blok fungsi *Ellipse Fitting* dilakukan dengan mengirimkan sembilan kumpulan variabel proses tersebut dengan menggunakan sebuah *resource* komputasi dengan menggunakan protokol komunikasi Message Queuing Telemetry Transport (MQTT).

4 Hasil dan Pembahasan

Sebelum melakukan validasi dilakukan terlebih dahulu penentuan ukuran jendela digital bergeser yang dapat digunakan. Selain itu, dilakukan juga pengukuran waktu eksekusi. Penentuan ukuran jendela digital dilakukan dengan mencoba dan galat. Setiap kegiatan dilakukan dengan mencoba variasi ukuran jendela sebesar 16, 32, 64, 128, 256, 512, dan 1024. Kegiatan ini dilakukan menggunakan salah satu data yang telah dilabeli permasalahan friksi statik. Hasil kegiatan penentuan ukuran jendela tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil simulasi dengan variasi ukuran jendela digital

| No | Ukuran Jendela Digital | Pola Grafik |
|----|------------------------|-------------|
| 1 | 16 | Divergen |
| 2 | 32 | Divergen |
| 3 | 64 | Konvergen |
| 4 | 128 | Konvergen |
| 5 | 256 | Konvergen |
| 6 | 512 | Konvergen |
| 7 | 1024 | - |

Ukuran jendela yang dapat digunakan adalah 64-512, karena menghasilkan pola grafik yang konvergen. Penentuan ukuran jendela 1024 tidak memberikan hasil karena menyebabkan perangkat lunak mengalami galat. Pengukuran waktu eksekusi blok fungsi *Ellipse Fitting* dilakukan saat permintaan eksekusi masuk sampai konfirmasi eksekusi keluar. Lama waktu eksekusi adalah latensi deteksi friksi statik. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran waktu eksekusi blok fungsi *Ellipse Fitting*

| No | Ukuran Jendela Digital | Rerata waktu eksekusi (s) |
|----|------------------------|---------------------------|
| 1 | 64 | 0,0021146 |
| 2 | 128 | 0,0021233 |
| 3 | 256 | 0,0021527 |
| 4 | 512 | 0,0021931 |

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh hasil rerata waktu berkisar 2 milidetik per eksekusi. Hasil ini masih termasuk batas latensi yang dapat ditoleransi dalam pemrosesan secara waktu nyata (*real-time*) [20].

Tahap selanjutnya adalah validasi metode yang dikembangkan menggunakan data uji dan data industri [19]. Data dengan kelas tidak friksi statik dan bukan friksi statik harus menghasilkan pola yang divergen, dan rerata indeks friksi statik yang sekecil mungkin (bila ada). Sebaliknya, variabel proses dengan permasalahan friksi statik harus menghasilkan deteksi friksi statik dengan total titik terdeteksi sebanyak mungkin.

Berdasarkan Tabel 4, hasil validasi menunjukkan bahwa setiap hasil deteksi telah sesuai dengan kelas setiap data. Pengukuran ketepatan deteksi dilakukan dengan membandingkan total titik terdeteksi dengan jumlah yang tidak terdeteksi. Skor ketepatan deteksi terendah terdapat pada variabel proses Industri 2, dengan 68,37% tidak terdeteksi friksi statik. Hal ini dapat menunjukkan bahwa, pada data tersebut terdapat permasalahan saturasi dan friksi statik. Tetapi, persentase saturasi lebih mendominasi dibandingkan friksi statik yang terdeteksi, sehingga data ini dilabeli sebagai permasalahan saturasi.

Tabel 4. Hasil validasi metode pencocokan elips

| No. | Identitas Data | | Hasil Deteksi | | |
|-----|----------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| | Nama Data | Friksi Statik | Rerata SI | Akurasi (%) | Friksi statik |
| 1. | Virtual 1 | Tidak | - | 100 | Tidak |
| 2. | Virtual 1 | Tidak | - | 100 | Tidak |
| 3. | Industri 1 | Tidak | 0,40 | 95,68 | Tidak |
| 4. | Industri 2 | Tidak | 1,56 | 68,37 | Tidak |
| 5. | Industri 3 | Ya | 2,29 | 100 | Ya |
| 6. | Industri 4 | Ya | 5,91 | 98,86 | Ya |
| 7. | Industri 5 | Ya | 1,67 | 100 | Ya |
| 8. | Industri 6 | Ya | 16,11 | 100 | Ya |
| 9. | Industri 7 | Ya | 3,69 | 100 | Ya |

Hasil deteksi yang telah sesuai pada setiap data, ukuran jendela digital yang telah diketahui, dan latensi deteksi yang cukup rendah, menyatakan bahwa metode deteksi friksi statik pencocokan elips yang dikembangkan secara online telah cukup valid.

5 Kesimpulan

Pengembangan metode deteksi friksi statik pencocokan elips secara online dengan Standar IEC 61499 menghasilkan blok fungsi utama *Ellipse Fitting* bertipe komposit. Blok fungsi *Ellipse Fitting* divalidasi berdasarkan ukuran jendela digital yang bergeser, waktu ukur deteksi dan pengujian terhadap data friksi statik dan bukan friksi statik. Ukuran jendela digital bergeser yang dapat digunakan adalah 64-512. Rerata waktu deteksi berkisar 2 milidetik per deteksi. Hasil validasi blok fungsi *Ellipse Fitting* terhadap kumpulan variabel proses yang diuji menunjukkan 9 deteksi tepat dari 9 kumpulan variabel proses yang diuji, dengan hasil deteksi yang sudah dapat diperoleh setelah 128 detik. Hasil juga menunjukkan bahwa blok fungsi yang dikembangkan menghasilkan dengan akurasi minimum sebesar 68,37% untuk deteksi variabel proses yang tidak mengalami friksi statik dan akurasi minimum sebesar 98,86% untuk deteksi variabel proses yang mengalami friksi statis.

6 Referensi

- [1] M. Jelali, *Control Performance Management in Industrial Automation: Assessment, Diagnosis and Improvement of Control Loop Performance (Advances in Industrial Control)*, London: Springer-Verlag, 2013.
- [2] R. Srinivasan, R. Rengaswamy, and R. Miller, "Control loop performance assessment 1. A qualitative approach for friksi statik diagnosis," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 44, pp. 6708-6718, 2005.
- [3] M. Jelali and B. Huang (eds[s]), *Detection and Diagnosis of Friksi statik in Control Loops: State of the Art and Advanced Methods (Advanced in Industrial Control series)*, London: Springer, 2011.
- [4] M.A.A.S. Choudhury, S.L. Shah, and N.F. Thornhill (eds[s]), *Diagnosis of Process Nonlinearities and Valve Friksi statik: Data Driven Approaches (Advances in Industrial Control)*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2008.
- [5] S. Karra and M.N. Karim, "Alternative model structure with simplistic noise model to identify linear time invariant systems subjected to non-stationary disturbances," *Journal of Process Control*, vol. 19, no. 16, pp. 964-977, 2007.
- [6] M. Rossi and C. Scali, "Automatic detection of friksi statik in actuators: a technique to reduce the number of uncertain cases," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 37, no. 9, pp. 751-756, 2004.
- [7] Q. P. He, J. Wang, M. Pottman, and S.J. Qin, "A curve fitting method for detecting valve friksi statik in oscillating control loops," *Industrial Engineering & Chemistry Research*, vol. 46, pp. 4549-4560, 2007.
- [8] Y.C.A. Hutabarat, A.N.I. Wardana, and W. Rosita, "Detection and quantification of valve friksi statik based on normality test and Hammerstein system identification," *American Institute of Physics Conference Proceedings*, vol. 1755 no. 170002, pp. 1-6, (2016).
- [9] D. Kristanto, A.N.I. Wardana, and W. Rosita, "Komparasi metode deteksi friksi statis katup berbasis pencocokan grafis," *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 8, no. 2, pp. 165-178, 2016.
- [10] J. W. V. Dambros, J. O. Trierweiler, and M. Farenzena, "Oscillation detection in process industries – Part 1: Review of the detection methods," *Journal of Process Control*, vol. 78, pp. 108-123, 2019.
- [11] T.C Wardaya, "Pengembangan metode deteksi friksi statik pada katup kontrol menggunakan pencocokan elips berbasis standar IEC 61499", Universitas Gadjah Mada, 2021
- [12] Fisher, *Control Valve Handbook: Fifth Edition*, Marshalltown, Iowa: Emerson Automation Solutions , 2017.
- [13] S. K. Lahiri, *Multivariable Predictive Control: Applications in Industry (First Edition)*, Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons , 2017.
- [14] W. Gander, G.H. Golub, and R. Strebler, "Fitting of circles and ellipses least squares solution." *BIT Numerical Mathematics*, vol. 34, pp. 558-578, 1994.
- [15] C. Aldrich, "Process fault diagnosis for continuous dynamic systems over multivariate time series," *Time Series Analysis: IntechOpen*, 2019.
- [16] Y.Y.S. Henry, C. Aldrich and H. Zabiri, "Detection and severity identification of control valve friksi statik in industrial loops using integrated partially retrained CNN-PCA frameworks," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 206, pp. no. 104143, pp. 1-14, 2020.
- [17] "IEC 61499: The New Standard in Automation," IEC 61499 [Online], Tersedia: www.iec61499.com, [Diakses 15 November 2020].

- [18]V. Vyatkin, "IEC 61499 as enabler of distributed and intelligent automation: state-of-the-art review," *IEEE Transactions On Industrial Informatics*, vol. 7, no. 4, 2011.
- [19]M. Bauer, L. Auret, R. Bacci di Capaci, A. Horch, and N. F. Thornhill, "Industrial PID Control Loop Data Repository and Comparison of Fault Detection Methods," *Industrial and Engineering Chemistry Research*, vol. 58, no. 26, pp. 11430-11439, 2019.
- [20]K. G. Shin and P. Ramanathan, "Real-time computing: a new discipline of computer science and engineering," *Proceedings of the IEEE*, vol. 82, no. 1, pp. 6-24, 1994.