# HALAMAN JUDUL

**RANCANG BANGUN PENGENDALI OTOMATIS**

**LINGKUNGAN TERMAL *CLIMATE CHAMBER* BERBASIS**

**JARINGAN SARAF TIRUAN**

**SKRIPSI**

untuk memenuhi sebagian persyaratan

untuk memperoleh derajat Sarjana S-1

Program Studi Teknik Fisika



Diajukan oleh

RIDHAN FADHILAH

15/384859/TK/43521

Kepada

**DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**YOGYAKARTA**

**2019**

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

**PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ridhan Fadhilah

NIM : 15/384859/TK/43521

Tahun terdaftar : 2015

Program Studi : Teknik Fisika

Fakultas : Teknik

menyatakan bahwa dokumen ilmiah skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi dan apabila dokumen ilmiah Skripsi ini di kemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Yogyakarta, tanggal-bulan-tahun

Materai

Rp. 6000

Ridhan Fadhilah

NIM. 15/384859/TK/43521

**HALAMAN PENGESAHAN**

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN PENGENDALI OTOMATIS**

**SISTEM LINGKUNGAN TERMAL *CLIMATE CHAMBER***

**BERBASIS JARINGAN SARAF TIRUAN**

oleh

**Ridhan Fadhilah**

**15/384859/TK/43521**

telah dipertahankan di depan Tim Penguji

pada tanggal *tanggal bulan tahun ujian*

**Susunan Tim Penguji**

|  |  |
| --- | --- |
| Ketua Sidang | |
|  |  |
| Nama Lengkap Ketua Sidang  NIP. XXXXXXXX XXXXXX X XXX | |
|  |  |
| Penguji Utama | Anggota Penguji |
|  |  |
| Nama Lengkap Penguji Utama  NIP. ..... | Nama Lengkap Anggota Penguji  NIP. ..... |

Diterima dan dinyatakan memenuhi

syarat kelulusan pada tanggal ......

Ketua Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Teknik Fisika

Fakultas Teknik UGM

Nopriadi, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19731119 200212 1 002

# HALAMHALAMAN PERSEMBAHAN

**HALAMAN TUGAS**

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**

**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK NUKLIR DAN TEKNIK FISIKA**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Nama | : | Ridhan Fadhilah |
| NIM | : | 15/384859/TK/43521 |
| Pembimbing Utama | : | Faridah, S.T., M.Sc. |
| Pembimbing Pendamping | : | Nama Lengkap Pembimbing Pendamping |
| Judul Skripsi | : | Rancang Bangun Pengendali Otomatis  Sistem Lingkungan Termal *Climate Chamber* Berbasis Jaringan Saraf Tiruan |
| Permasalahan | : | Permasalahan yang akan dimunculkan dalam Halaman Tugas. Mohon dirumuskan secara terperinci dan mudah dipahami. |
|  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| Pembimbing Utama  Nama Lengkap Pembimbing Utama  NIP. | Pembimbing Pendamping  Nama Lengkap Pembimbing Pendamping  NIP. |

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika

Fakultas Teknik UGM

Nopriadi, S.T., M.Sc., Ph.D.

NIP. 19731119 200212 1 002

*… Karya ini kupersembahkan untuk ibu pertiwi …*

… Hiduplah untuk hari ini. Bukan masa lalu ataupun masa depan. …

# KATA PENGANTAR

**KATA PENGANTAR**

Kata Pengantar berisikan uraian yang mengantar pada para pembaca skripsi kepada permasalahan yang diteliti. Dalam Kata Pengantar dapat pula disertakan ucapan terima kasih dan apresiasi penulis kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhirnya. Ucapan terima kasih disampaikan secara singkat dan harus diungkapkan dengan serius dalam tata bahasa yang benar.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Yogyakarta, November 2018 |
|  |  |
|  | Penulis |

# DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

[HALAMAN JUDUL i](#_Toc530478633)

[PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME ii](#_Toc530478634)

[HALAMAN PERSEMBAHAN iv](#_Toc530478635)

[KATA PENGANTAR vii](#_Toc530478636)

[DAFTAR ISI viii](#_Toc530478637)

[DAFTAR TABEL x](#_Toc530478638)

[DAFTAR GAMBAR xi](#_Toc530478639)

[DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN xii](#_Toc530478640)

[INTISARI xiv](#_Toc530478641)

[ABSTRACT xv](#_Toc530478642)

[BAB I PENDAHULUAN 1](#_Toc530478643)

[I.1. Latar Belakang 1](#_Toc530478644)

[I.2. Perumusan Masalah 1](#_Toc530478645)

[I.2.1. Batasan Masalah 2](#_Toc530478646)

[I.3. Tujuan Penelitian 2](#_Toc530478647)

[I.4. Manfaat Penelitian 2](#_Toc530478648)

[BAB II TINJAUAN PUSTAKA 3](#_Toc530478649)

[II.1. Isi Tinjauan Pustaka 3](#_Toc530478650)

[BAB III DASAR TEORI 4](#_Toc530478651)

[III.1. Isi Dasar Teori 4](#_Toc530478652)

[III.2. HIPOTESIS (*bila perlu*) 5](#_Toc530478653)

[BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN 6](#_Toc530478654)

[IV.1. Alat dan Bahan Penelitian 6](#_Toc530478655)

[IV.2. Tata Laksana Penelitian 6](#_Toc530478656)

[IV.3. Rencana Analisis Hasil Penelitian 6](#_Toc530478657)

[BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 8](#_Toc530478658)

[V.1. Hasil Penelitian 8](#_Toc530478659)

[V.2. Pembahasan 8](#_Toc530478660)

[V.3. Contoh Penulisan Persamaan 8](#_Toc530478661)

[V.4. Contoh Penulisan Gambar dan Acuannya 8](#_Toc530478662)

[V.5. Contoh Penulisan Tabel dan Acuannya 9](#_Toc530478663)

[V.6. Contoh Penulisan Acuan ke Pustaka yang Digunakan 9](#_Toc530478664)

[BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 10](#_Toc530478665)

[VI.1. Kesimpulan 10](#_Toc530478666)

[VI.2. Saran 10](#_Toc530478667)

[DAFTAR PUSTAKA 11](#_Toc530478668)

[LAMPIRAN A CONTOH LISTING PROGRAM *INPUT SERPENT* 13](#_Toc530478671)

[LAMPIRAN B TABEL DENSITAS MATERIAL 15](#_Toc530478672)

# DAFTAR TABEL

**DAFTAR TABEL**

[Tabel 5.1. Hasil simulasi teras reaktor KLT-40S desain pada analisis siklus hidup reaktor 9](#_Toc491125259)

Tabel B.1. Densitas ThO2 pada zona blanket aksial 15

# DAFTAR GAMBAR

**DAFTAR GAMBAR**

[Gambar 5.1. Perubahan kritikalitas efektif pada pengayaan 18,6 wt% dengan matriks silumin 9](#_Toc491125285)

# DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

**Lambang Romawi**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Lambang* | *Kuantitas* | *Satuan* |
| a | Luas | m2 |
| c | Kecepatan cahaya | 3 x 108 m/s |
| E | Energi | J |
| p | Probabilitas neutron lolos resonansi | - |
| P(t) | Laju produksi neutron | neutron/s |
| X | Ketebalan materi | m |
| **Lambang Yunani** | | |
| *Lambang* | *Kuantitas* | *Satuan* |
| ε | Faktor fisi cepat |  |
| σ | Tampang lintang mikroskopik | barn (10-24 cm2) |
| Σ | Tampang lintang makroskopik | cm-1 |
| σf | Tampang lintang mikroskopik reaksi fisi | barn (10-24 cm2) |
|  |  |  |
| **Subskrip** | | |
| *Lambang* | *Deskripsi* |  |
| ext | exkternal |  |
| in | inlet |  |
|  |  |  |
| **Superskrip** |  |  |
| *Lambang* | *Deskripsi* |  |
| F | fuel |  |
| j | Indeks koordinat |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Singkatan** |  |
| ASEAN | *Association of Southeast Asian Nations* |
| BATAN | Badan Tenaga Nuklir Nasional |
| BWR | *Boiling Water Reactor* |
| CAAGR | Compound Average Annual Growth Rate |
| ET | Energi Terbarukan |
| VVER | *Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactor* |
| W | Watt |

# INTISARI

**JUDUL SKRIPSI DALAM BAHASA INDONESIA**

Oleh

Nama Lengkap Mahasiswa

xx/yyyyyy/TK/zzzzz

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada tanggal ……  
untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat   
Sarjana Program Studi Teknik Nuklir

**INTISARI**

Dalam melakukan penelitian kenyamanan termal, peneliti membutuhkan suatu *climate chamber* untuk dapat melakukan pengujian. *Climate chamber* merupakan suatu ruangan dengan parameter lingkungan termal yang terukur. Kondisi lingkungan termal di dalam *climate chamber* dapat berubah sesuai dengan skema pengujian. Untuk mengkondisikan hal tersebut digunakan sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) yang terdiri dari perangkat *Air Conditioner* (AC) dan *heater*. Agar perangkat AC dan *heater* dapat bekerja secara optimal maka diperlukan suatu sistem pengendalian yang mampu mengendalikan lingkungan termal sesuai dengan tuntutan pengujian.

Panjang siklus yang mendekati data teknis dicapai pada pengayaan 15,7 wt% dengan matriks silumin dengan panjang siklus 846,37 hari. Pada penggunaan pengayaan 18,6 wt% dengan matriks silumin diperoleh koefisien reaktivitas suhu bahan bakar -2,68092 pcm/K, suhu pendingin/moderator sebesar -21,63755 pcm/K, tanpa penggunaan silumin diperoleh koefisien reaktivitas fraksi *void* -0,2154/K. Fraksi massa isotop 239Pu pada pengayaan 18,6 wt% dengan matriks silumin diperoleh pada nilai 54,219%. Karena aku bukan lelaki buaya. A a a a a aknbehbljddg

Sdfg dfjbdfgdfgkj kau

kjadfk

***Kata kunci***: kata kunci 1, kata kunci 2, kata kunci 3, kata kunci 4

Pembimbing Utama : Faridah, S.T., M.Sc.

Pembimbing Pendamping : Ir. Agus Arif, M.T.

# ABSTRACT

**JUDUL SKRIPSI DALAM BAHASA INGGRIS**

by

Nama Lengkap Mahasiswa

xx/yyyyyy/TK/zzzzz

Submitted to the Departement of Nuclear Engineering and Engineering Physics Faculty of Engineering Universitas Gadjah Mada on *Month Date, year*  
in partial fulfillment of the requirement for the Degree of   
Bachelor of Engineering in Nuclear Engineering

**ABSTRACT**

The utility of floating nuclear power plant (FNPP) has a potential of fulfilling regional electricity load with high utility at coastal area with also having appropriate load in order to fulfill a small to moderate regional electrical grid. KLT-40S reactor is a 150 MWt FNPP designed by OKBM Afrikantov, Russia.

This research a neutronic analysis to the KLT-40S reactor core has been conducted using Serpent simulation code by analyzing burnup and operational cycle length value of the core. Analysis of burnup and cycle length utilize various fuel enrichment and silumin content appearance in fuel pin and burnable poison pin. Inherent safe analysis is conducted at various termalhydraulic parameters. Build up dynamics of 239Pu inventory was also investigated as proliferation resistance profile.

The result shows that the usage of 15.7 wt% fuel enrichment with silumin matrix appearance has the closest technical data cycle length of 846,37 days. Using 18.6 wt% fuel enrichment with silumin matriks will give -2.68092x10pcm/K of fuel temperature reactivity coefficient and -21.63755 pcm/K of coolant/moderator temperature reactivity coefficient, while without silumin matrix appeareance will give -0.2154/K of void fraction reactivity coefficient. 239Pu mass fraction of 18.6 wt% with silumin matrix appearance reached at 54.219%. hjdlsdhbfglsdfgsldfgsfdgsdfgsdfgsdfgsdfgsdfgfg

***Keywords***: Keyword 1, keyword 2, keyword 3, keyword 4

Supervisor : Faridah, S.T., M.Sc.

Co-supevisor : Agus Arif, S.T., M.T.

# PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Ruangan pada setiap bangunan umumnya menggunakan AC untuk mencapai kondisi ruang yang lebih dingin bagi penghuni ruangan. Padahal hal tersebut salah besar. Penghuni tidak menginginkan kondisi ruang yang lebih dingin atau pun lebih panas. Penghuni ruang menginginkan kondisi ruangan yang nyaman bagi tubuh mereka. Kenyamanan ini yang disebut sebagai kenyamanan termal. Kenyamanan termal yang dimaksud tidak sesederhana menurunkan suhu di suatu ruangan. Kenyaman termal bergantung juga kepada sensasi termal tubuh manusia. Kenyaman termal penting untuk kesehatan dan kebugaran tubuh yang berpengaruh terhadap produktivitas. Kurangnya kenyamanan termal dapat mengakibatkan kondisi stres bagi penghuni bangunan. Apabila kondisi bangungan terlalu hangat, maka penghuni akan merasa lelah. Apabila kondisi bangunan terlalu dingin, maka penghuni akan merasa gelisah dan bimbang. Berdasarkan hal tersebut, penelitian mendalam mengenai kenyaman termal penting untuk dilakukan.

Dalam melakukan penelitian kenyamanan termal, peneliti membutuhkan suatu *climate chamber* untuk dapat melakukan pengujian. *Climate chamber* merupakan suatu ruangan dengan parameter lingkungan termal yang terukur. Kondisi lingkungan termal di dalam *climate chamber* dapat berubah sesuai dengan skema pengujian. Terdapat dua faktor pengujian kenyamanan termal, yaitu faktor lingkungan termal dan faktor fisiologis manusia. Faktor lingkungan termal meliputi suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan suhu radian, sedangkan faktor fisiologis manusia meliputi insulasi pakaian dan laju metabolisme tubuh[ASHRAE Standard 55-2004. 2004. “*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*”].

Penulis mengambil studi kasus pada *climate chamber* di Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika (DTNTF) UGMyang digunakan sebagai ruang uji penelitian kenyamanan termal. *Climate chamber* DTNTF dilengkapi dengan beberapa perangkat sensor untuk mengukur faktor lingkungan termal. Sensor yang digunakan yakni sensor suhu dan sensor kelembaban relatif dan sensor kecepatan udara. *Climate chamber* DTNTF pun dilengkapi dengan perangkat aktuator berupa *Air Conditioner* (AC) dan *heater* sebagai sistem *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC). Didalamnya pun tersedia perangkat komputer yang digunakan sebagai *computer server* untuk basis data pengukuran sensor parameter lingkungan termal. Selain itu, perangkat komputer digunakan pula untuk proses pengisian kuesioner dalam penelitian kenyamanan termal. Semua sistem yang digunakan pada *climate chamber* ini masih dioperasikan secara manual.

Untuk mengkondisikan lingkungan termal, *climate chamber* menggunakan perangkat *Air Conditioner* (AC) dan *heater*. Agar perangkat AC dan *heater* dapat bekerja secara optimal maka diperlukan suatu sistem pengendalian yang mampu mengendalikan lingkungan termal sesuai dengan tuntutan pengujian. *Climate Chamber* membutuhkan suatu sistem kendali yang mampu mengatur dan menjaga nilai suhu dan kelembapan udara di dalamnya. Sistem kendali lingkungan termal untuk ruang uji termal terdiri dari 3 komponen berupa sensor, pengendali dan aktuator. Hal ini menjadikan komponen pengendali sebagai salah satu komponen penting dalam menciptakan *climate chamber* yang terkendali.

Dalam melakukan perancangan sistem kendali, terlebih dahulu perlu dilakukan pemodelan *plant* dan pemodelan *controller*. Penulisan mengenai pemodelan plant tidak akan dibahas dalam penelitian ini. Pada penulisan ini, penulis berfokus pada proses pemodelan *controller* dalam melakukan rancang bangun pengendali. Pemodelan *plant* didapatkan dari penelitian sebelumnya menggunakan aplikasi IESVE. (Ichfan)

Pengendali dari sistem kendali lingkungan termal pada ruang uji termal dapat dibangun dengan berbagai sistem kendali. Salah satu sistem kendali yang cukup populer adalah sistem kendali cerdas (*Intelligent Control System*). Pada sistem kendali cerdas, kecerdasan buatan diterapkan pada algoritma kendali yang kemudian ditanamkan pada pengendali sehingga mampu membangun suatu pengendali yang dapat bekerja dengan adaptif terhadap kondisi yang berubah-ubah. Cabang kecerdasan buatan yang kerap digunakan pada sistem ini yaitu *Machine Learning*. *Machine Learning* bekerja dengan memperoleh data-data yang diberikan berupa pasangan nilai variabel masukan sistem dengan nilai variabel keluaran sistem yang kemudian program ini akan belajar dari data-data tersebut melalui metode yang dipilih. Salah satu metode yang sering digunakan untuk sistem kendali lingkungan termal adalah metode jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Network*).

Jaringan saraf tiruan pada penulisan ini memiliki tugas untuk menjaga nilai suhu dan kelembapan udara pada ruang uji termal agar bernilai tetap sesuai dengan nilai tetapan yang ditentukan oleh penulis. Sehingga ruang uji termal kelak dapat dipandang sebagai lingkungan termal yang terkendali dan dapat digunakan untuk menguji respon fisiologis tubuh manusia terkait kenyaman termal yang dirasakan oleh penghuni ruang.

Peneliatan yang sudah ada mayoritas masih berfokus pada pembangunan dan pengembangan algoritma terkait perangkat lunak sistem kendali. Pada penulisan ini penulis berusaha untuk membangun perangkat keras pengendali dengan implementasi algoritma kendali di dalamnya. Program algoritma kendali yang dibuat akan ditanamkan pada perangkat keras dalam sistem kendali lingkungan termal. Sistem kendali akan menjaga suhu dan kelembapan udara agar bernilai tetap pada nilai yang ditentukan dengan membaca kondisi lingkungan ruang uji dan mengendalikan kondisi AC dan *heater*.

## Perumusan Masalah

Bagaimana cara mengendalikan lingkungan termal pada *climate chamber* sesuai dengan tuntutan perancangan menggunakan pengendali berbasis jaringan saraf tiruan?

atau

Bagaiman perancangan dan pembangunan model jaringan saraf tiruan yang optimal untuk mengendalikan lingkungan termal pada *climate chamber* DTNTF UGM?

## Batasan Masalah

Berikut batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Rancang Bangun diperuntukkan untuk Sistem Lingkungan Termal *Climate Chamber* DTNTF UGM.
2. Penelitian tidak meliputi karakterisasi sistem lingkungan termal.
3. Pemodelan *plant* diperoleh dari penelitian sebelumnya menggunakan aplikasi IESVE.
4. Penelitian hanya berfokus pada bagian controller dari keseluruhan sistem pengendalian. Penelitian tidak membahas sensor, aktuator atau sistem kendali komunikasi data.
5. Metode yang digunakan adalah jaringan saraf tiruan.
6. Penelitian berfokus untuk membangun instrumen pengendalian (pengendali/kendalier) berbasis jaringan saraf tiruan.

## Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah penulis mampu mengendalikan lingkungan termal sesuai dengan tuntutan perancangan dengan menggunakan metode jaringan saraf tiruan.

atau

Adapun tujuan dari penulisan ini adalah penulis mampu merancang dan membangun model jaringan saraf tiruan yang optimal untuk mengendalikan lingkungan termal pada *climate chamber* DTNTF UGM.

## Manfaat Penelitian

Berikut manfaat dari penelitian ini:

1. Penelitian ini diharapkan mampu menambah pengembangan ilmu pengetahuan dan pengaplikasiannya di bidang fisika bangunan mengenai sistem kendali menggunakan kecerdasan buatan.
2. Penelitian ini mampu menjadi referensi dalam pengembangan kenyamanan termal suatu ruangan.
3. Penelitian ini mampu memajukan perkembangan teknologi di Indonesia.

# TINJAUAN PUSTAKA

## Sistem kendali lingkungan termal

Untuk mengendalikan lingkungan termal, peneliti pada umumnya menggunakan sistem kendali modern (*modern control system*). Hal ini didasarkan pada karakteristik lingkungan termal yang memiliki sifat MIMO (*multiple input multiple output*). Sehingga, sistem kendali klasik tidak tepat digunakan untuk sistem ini.

Kelemahan utama dari metode klasik adalah, bahwa mereka hanya dapat digunakan untuk mengendalikan sistem single-input single-output (SISO), dengan persyaratan pada model sistem untuk menjadi linear time-invariant (LTI). Metode klasik memberikan hasil yang memuaskan hanya dalam mengendalikan proses sederhana, tetapi hasil yang tidak memuaskan dalam kontrol sistem yang lebih kompleks. [*Model Predictive Control with Applications in Building Thermal Comfort Control*]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Metode Kendali** | **Klasik** | **Modern** |
| Domain | Frequency, S-domain | Time |
| Representasi Model | Fungsi Transfer | State-space |
| Kontinuitas | Kontinyu | Kontinyu, Diskrit, *Hybrid* |
| Linieritas | Linier | Linier, Non-linier |
| Variansi waktu | Time-invariant (TI) | Time-variant (TV) |
| Dimensi | SISO | MIMO |
| Determinisme | Deterministik | Deterministik, Stokastik |
| Optimisasi | Tidak | Ya |
| Batasan | Tidak | Ya |
| Implementasi | Murah, Mudah | Mahal, Kompleks |

Dalam mengendalikan suatu sistem penulis perlu untuk mengidentifikasi sistem yang akan dikendalikan. Sistem lingkungan termal pada

## Perancangan Model Jaringan Saraf Tiruan

## Sistem Kendali Jaringan Saraf Tiruan

# DASAR TEORI

## Sistem Pengendalian

Sistem pengendalian telah memegang peranan yang sangat penting dalam

perkembangan ilmu dan teknologi. Disamping sangat diperlukan pada pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengendalian pesawat, dan sebagainya, sistem pengendalian juga mejadi bagian penting dan terpadu dari proses-proses dalam pabrik dan industri modern. Sistem pengendalian otomatis sangat diperlukan dalam operasi-operasi di industri untuk mengendalikan tekanan, temperatur, laju aliran dan sebagainya.

Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan bersinergi untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Sistem tidak hanya dibatasi hanya untuk sistem fisik saja. Konsep sistem dapat digunakan pada gejala yang abstrak dan dinamis lainnya seperti sistem ekonomi, biologi, organisasi, dan lain sebagainya. Sistem pengendalian adalah interkoneksi dari berbagai komponen pengendalian yang membentuk suatu konfigurasi sistem yang akan menghasilkan respon sistem yang diinginkan.

Komponen utama dari sistem pengendalian terdiri dari proses dan kontroler. Proses adalah komponen atau grup yang terdiri dari beberapa komponen yang dikendalikan. Kontroler adalah komponen yang mengendalikan proses. Keluaran dari kontroler adalah nilai variabel yang memanipulasi proses.

Sistem pengendalian dapat dikategorikan menjadi dua macam, yakni sistem pengendalian lup terbuka dan sistem pengendalian sistem tertutup. Sistem pengendalian lup terbuka adalah sistem pengendalian yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengendalian. Pada sistem ini keluaran tidak dibandingkan dengan setpoint. Sehingga untuk setiap setpoint, terdapat suatu kondisi operasi yang tetap. Jadi ketelitian sistem tergantung dari kalibrasi sistem. Sistem pengendalian lup terbuka ini juga tidak akan bisa bekerja jika ada gangguan internal maupun eksternal pada sistem. Sistem pengendalian lup tertutup atau sistem pengendalian berumpan balik adalah sistem pengendalian yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengendalian. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara nilai keluaran sistem dan nilai setpoint diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar nilai keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan (setpoint). Penggunaan umpan balik membuat respon sistem menjadi kurang peka terhadap gangguan internal maupun eksternal sehingga, jika dibandingkan dengan sistem pengendalian lup tertutup, sangat mungkin diperoleh sistem pengendalian yang lebih teliti meskipun menggunakan komponen-komponen yang relatif kurang teliti.

Sistem pengendalian merupakan hal yang dinamis. Sistem akan memberikan respon terhadap masukan yang diberikan, dimana pada awalnya sistem akan memberikan suatu respon transien yang selanjutnya tercapai kondisi keadaan ajeg yang secara umum akan mengikuti input yang diberikan. Terdapat tiga hal utama tujuan desain dan analisis dari sistem pengendalian, yaitu:

1. Menghasilkan spesifikasi dari respon transien yang diinginkan.

2. Mengurangi kesalahan pada keadaan ajeg.

3. Mencapai kestabilan sistem.

### Respon Transien

Jika suatu sistem pengendalian dikenakan suatu masukan tertentu, sistem tidak bisa langsung mengikuti masukan yang diberikan, tetapi sistem terlebih dahulu akan berusaha untuk menyesuaikan karakter naturalnya dengan masukan yang diberikan. Respon inilah yang dinamakan respon transien dan menjadi hal penting untuk dianalisis dalam desain sistem pengendalian. Sebagai contoh adalah respon sistem pengendalian posisi elevator. Jika respon transien terlalu lambat maka akan membuat penumpang tidak sabar. Tetapi jika respon transien terlalu cepat maka akan membuat penumpang merasa tidak nyaman. Respon transien juga penting untuk alasan struktur. Respon transien yang terlalu cepat bisa juga menyebabkan kerusakan fisik pada peralatan yang dikendalikan.

### Respon Keadaan Ajeg

Salah satu tujuan dari desain dan analisis dari sistem pengendalian difokuskan pada respon keadaan ajeg. Misalnya dalam sistem pengendalian posisi elevator, kesalahan pada keadaan ajeg akan menyebabkan posisi elevator tidak tepat pada lantai yang dituju, tetapi bisa pada posisi di atas atau di bawahnya. Dalam keadaan ajeg diharapkan respon sistem sesuai dengan input yang diberikan. Tujuan dari desain dan analisis sistem pengendalian diarahkan pada bagaimana memperkecil kesalahan pada keadaan ajeg.

### Kestabilan Sistem

Respon dari sistem merupakan hasil penjumlahan dari respon natural sistem dan respon paksaan. Respon natural merupakan respon sistem karena karakter natural dari sistem. Respon paksaan adalah respon sistem terhadap masukan atau paksaan yang diberikan pada sistem.

Sistem pengendalian dikatakan stabil jika respon natural :

1. pada rentang waktu tertentu bernilai mendekati nol, sehingga hanya menyisakan respon paksaan, atau

2. berisolasi

Jika respon natural dari sistem membesar sehingga lebih besar dari respon paksaannya, maka sistem dikatakan tidak stabil. Hal ini bisa mengakibatkan kondisi-kondisi yang tidak menguntungkan, seperti misalnya, suatu elevator akan meluncur sampai menembus atap, posisi antena akan terus berputar dan sebagainya.

## Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan adalah algoritma komputer berupa representasi matematis yang diilhami dari sekumpulan neuron yang terhubung secara masif yang membentuk jaringan saraf biologis. Jaringan saraf tiruan adalah teknologi komputasi alternatif yang telah terbukti bermanfaat dalam berbagai pengenalan pola, pemrosesan sinyal, estimasi, dan masalah kendali. [Passino, Kevin M. *Intelligent Control: An Overview of Techniques.* ]

Sinyal (informasi) pada jaringan saraf biologis dikirim melalui sel-sel saraf yang terdiri dari dendrit, soma, dan akson. Dendrit menerima sinyal berupa impuls listrik yang dikirim melalui celah sinaptik yang bertugas untuk memperkuat atau memperlemah sinyal. Soma berfungsi untuk menjumlahkan semua sinyal-sinyal yang masuk dari semua dendrit. Jika total sinyal pada soma memiliki nilai yang lebih besar dari nilai ambang batas tertentu, maka sinyal akan diteruskan ke sel lainnya melalui akson. Frekuensi penerusan sinyal berbeda-beda antara satu sel dengan yang lain. [JJ Siang. *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya menggunakan MATLAB.* ANDI, Yogyakarta, 2004.]

### Komponen JST

Sama seperti jaringan saraf pada manusia, jaringan saraf tiruan memiliki komponen yang bertugas sebagai penerima, pengolah sinyal, dan penerus sinyal ke neuron yang lain.

JST dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan saraf biologi, dengan asumsi bahwa [41]:

* Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron).
* Sinyal dikirimkan di antara neuron-neuron melalui penghubung-penghubung.
* Penghubung antar neuron memiliki **bobot** yang akan memperkuat atau memperlemah sinyal.
* Untuk menentukan keluaran, setiap neuron menggunakan **fungsi aktivasi** (bukan fungsi linier) yang dikenakan pada jumlahan masukan yang diterima. Besarnya keluaran selanjutnya akan dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Dalam JST, yang menggantikan peran dari soma, akson, dendrit, dan sinapsis, serta akan menentukan kualitas suatu jaringan saraf ada 3 hal, yakni [41]:

1. Pola hubungan antar neuron (arsitektur jaringan).
2. Metode untuk menentukan bobot penghubung (metode *training/learning*/algoritma).
3. Fungsi aktivasi.

### Model JST

Seperti pada jaringan saraf pada manusia, jaringan saraf tiruan terdiri dari neuron-neuron yang berfungsi menerima, mengolah, dan meneruskan informasi ke sel yang lain. Neuron pada JST terdiri dari 3 elemen pembentuk, yaitu [41]:

1. Himpunan unit-unit yang dihubungkan dengan jalur koneksi. Jalur-jalur tersebut memiliki bobot/kekuatan yang berbeda-beda. Bobot yang bernilai positif akan menguatkan sinyal, sebaliknya, bobot yang bernilai negatif akan melemahkan sinyal yang dibawa. Jumlah, struktur, dan pola hubungan antar unit tersebut akan menentukan arsitektur jaringan dan model jaringan yang terbentuk.
2. Suatu unit penjumlah yang akan menjumlahkan input sinyal yang telah dikalikan dengan bobotnya masing-masing.
3. Fungsi aktivasi yang akan menentukan apakah sinyal dari input neuron akan diteruskan ke neuron yang lain atau tidak.

Hingga saat ini, ada lebih dari 20 model jaringan saraf tiruan. Masing-masing model tersebut memiliki arsitektur, fungsi aktivasi, dan metode perhitungan yang berbeda-beda. Model-model jaringan dapat diklasifikasikan menjadi 2 kelompok, yakni menurut strategi pelatihan dan arsitektur jaringannya.

Menurut strategi pelatihan, model jaringan dibagi menjadi 2, yakni:

1. **Pelatihan dengan Supervisi**

Dalam pelatihan ini, terdapat sejumlah pasangan data, yakni masukan dan keluaran tertentu yang digunakan untuk melatih jaringan hingga memperoleh bobot yang diinginkan. Jadi, dalam pelatihan ini jaringan memiliki seorang “guru” yang mengarahkan proses pelatihan untuk memproses masukan hingga mengeluarkan keluaran yang sesuai dengan keinginan.

Pada setiap pelatihan, suatu input diberikan ke jaringan. Jaringan tersebut akan memproses keluaran. Apabila terdapat selisih antara keluaran dari jaringan dan keluaran yang diinginkan, maka masih terdapat kesalahan. Jaringan akan memperbaiki kesalahan tersebut dengan mengubah bobot sesuai dengan kesalahan yang terjadi.

Contoh model yang masuk dalam kategori ini antara lain adalah Hebbian, Perceptron, ADALINE, Boltzman, dan Hopfield *Backpropagation*.

1. **Pelatihan tanpa Supervisi**

Berlawanan dengan pelatihan dengan supervisi, dalam pelatihan ini jaringan tidak memiliki seorang “guru” yang memberikan pengarahan dalam proses pelatihan untuk memberikan keluaran yang sesuai. Dalam pelatihannya, perubahan bobot jaringan dilakukan berdasarkan parameter tertentu dan jaringan dimodifikasi menurut parameter tersebut. Contoh model yang masuk dalam kategori ini adalah *Competitive*, Hebbian, Kohonen, LVQ (*Learning Vector Quantization*), dan *Neocognitron*.

Berdasarkan arsitekturnya, model jaringan saraf tiruan dapat dikategorikan menjadi:

1. **Jaringan layar tunggal**

Dalam jaringan ini, sekumpulan input neuron dihubungkan langsung dengan sekumpulan outputnya. Skema jaringan layar tunggal dapat dilihat pada Gambar 3.12.

*Gambar 3.12 Skema jaringan layar tunggal*

Besaran wij menyatakan bobot hubungan antara unit masukan ke-i dengan unit keluaran ke-j. Selama proses pelatihan, bobot-bobot tersebut akan dimodifikasi secara independen (tidak saling berpengaruh antar bobot) untuk meningkatkan keakuratan hasil.

Model yang masuk dalam kategori jaringan layar tunggal adalah ADALINE, Hopfield, Perceptron, dan LVQ. Model jaringan layar tunggal cocok digunakan untuk pengenalan pola karena kesederhanaannya.

1. **Jaringan layar jamak**

Jaringan layar jamak merupakan perluasan dari jaringan layar tunggal. Dalam jaringan ini, selain adanya lapisan masukan dan keluaran, juga ada lapisan- Jaringan layar jamak dapat menyelesaikan masalah yang lebih kompleks dibandingkan dengan jaringan layar tunggal, meskipun terkadang proses pelatihan lebih kompleks dan lama. Model jaringan yang masuk dalam kategori jaringan layar jamak antara lain adalah MADALINE, Backpropagation, dan Neocognitron.

### Algoritma Pembelajaran JST

Jaringan saraf tiruan lapisan lain, yang sering disebut sebagai lapisan tersembunyi (hidden layers). Sangat dimungkinkan bahwa ada beberapa lapisan/layar tersembunyi. Sama dengan lapisan masukan dan keluaran, unit-unit dalam satu layar tidak saling berhubungan (independen). Skema jaringan layar jamak dapat dilihat pada Gambar 3.13.

### Pemanfaatan JST

Jaringan saraf tiruan telah banyak digunakan dalam berbagai disiplin ilmu. Area pemanfaatan jaringan sarat tiruan melingkupi sistem identifikasi dan kendali (kendali kendaraan, predisksi trajektori dan kendali proses), pengenalan pola, permainan *games*, klasifikasi sinyal, diagnosis medis, finansial, penyaringan spam surel, dan banyak lainnya.

Jaringan saraf tiruan telah digunakan secara nyata untuk diagnosis kanker, seperti kanker paru-paru, kanker prostat, dan untuk membedakan garis sel kanker yang sangat invasif dari garis yang kurang invasif dengan hanya menggunakan informasi bentuk sel.

## Kendali Jaringan Saraf Tiruan

Fitur menarik dan penting dari jaringan saraf yang dilatih menggunakan back-propagation adalah bahwa tidak ada pengetahuan tentang proses yang sedang dilatih untuk ditiru diperlukan. Juga, karena mereka belajar dari pengalaman daripada pemrograman, penggunaannya dapat dianggap sebagai pendekatan 'kotak hitam'.

Menyediakan data input / output tersedia, jaringan saraf dapat digunakan untuk memodelkan dinamika tanaman yang tidak dikenal. Tidak ada kendala mengenai apakah instalasi itu linier atau nonlinier, asalkan data pelatihan mencakup seluruh amplop operasi pabrik.

Perhatikan pengamat status jaringan saraf yang ditunjukkan pada Gambar 10.25. Ini serupa dalam operasinya dengan pengamat status penuh Luenberge yang diberikan pada Gambar 8.9. Jika jaringan saraf pada Gambar 10.25 dilatih menggunakan propagasi balik, algoritma akan meminimalkan PI...

# PELAKSANAAN PENELITIAN

## Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian yang dilakukan meenggunakan beberapa alat dan/atau bahan yang disebutkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

**Tabel 4.1.** Daftar alat dan bahan

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| No. | Nama alat/bahan | Fungsi |
| 1 | Laptop ASUS N550JX | Komputer pelatihan dan pengujian model jaringan saraf tiruan |
| 2 | Python versi 3.7 | Bahasa Pemrograman |
| 3 | Visual Studio Code versi | Aplikasi penulisan dan penyuntingan kode sumber |
| 4 | Raspberry Pi versi 3 B | Komputer mikro sebagai perangkat pengendali |
| 5 | Scikit-Learn versi | Pustaka pembangunan Jaringan Saraf Tiruan |

**Tabel 4.2.** Spesifikasi laptop ASUS N550JX

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| No. | Komponen | Spesifikasi |
| 1 | Prosesor | 2.6 GHz octa-core Intel Core i7 |
| 2 | RAM | 8 GB |
| 3 | Sistem Operasi 1 | Manjaro .. |
| 4 | Sistem Operasi 2 | Windows 10 Enterprise 64-bit |

**Tabel 4.3.** Spesifikasi Komputer mikro Raspberry Pi 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| No. | Komponen | Spesifikasi |
| 1 | Prosesor |  |
| 2 | RAM |  |
| 3 | Sistem Operasi |  |

## Tata Laksana Penelitian

Alur penelitian yang digunakan penulis dalam mencapai tujuan dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 berikut.





### Perumusan Masalah dan Studi Literatur

Perumusan masalah dan studi literatur pada penelitian ini sudah dijelaskan secara terperinci pada Bab I dan Bab II.

### Tuntutan Perancangan

Uraikan rangkaian logis penyelesaian masalah menurut tahap-tahap analisis yang dipaparkan dalam bagian **Dasar Teori**, yaitu berupa langkah-langkah kerja dan/atau algoritma penelitian.

### Perancangan Model

Uraikan rangkaian logis penyelesaian masalah menurut tahap-tahap analisis yang dipaparkan dalam bagian **Dasar Teori**, yaitu berupa langkah-langkah kerja dan/atau algoritma penelitian.

## Rencana Analisis Hasil Penelitian

Kemukakan bagaimana, **menurut rencana**, hasil-hasil yang akan diperoleh dari penelitian akan diolah. Cara bagaimana pengolahan ini akan dilakukan sudah tentu disesuaikan/dikaitkan dengan tujuan penelitian. Secara umum, pengolahan bisa dilakukan melalui proses:

* 1. **Perangkuman** hasil penelitian dalam format tabel, gambar, statistik (rata-rata, koefisien korelasi, dlsb.), atau dalam bentuk besaran khusus tertentu sesuai dengan parameter atau variabel yang dilibatkan dalam penelitian.
  2. Pengujian **perbedaan** statistik (rata-rata, korelasi, dlsb) variabel penelitian.
  3. Pengujian **keterkaitan** (korelasi) statistik variabel penelitian.
  4. Pengolahan lain yang relevan dengan tujuan penelitian.

# HASIL DAN PEMBAHASAN

## Hasil Penelitian

Hasil-hasil yang disajikan bukan data mentah, melainkan data yang telah diolah dengan proses sebagaimana tercantum dalam pasal “Rencana analisis hasil” Bab IV tentang “Pelaksanaan Penelitian”.

## Pembahasan

Pembahasan mengungkapkan atau menjelaskan atau menguraikan dengan panjang-lebar bagaimana hasil penelitian akan mengarah kepada kesimpulan yang terkait dengan tujuan penelitian.

## Contoh Penulisan Persamaan

Persamaan ditulis rata tengah dan nomor persamaan ditulis rata kanan. Nomor persamaan diurutkan dengan format (nomor\_bab.nomor\_persamaan). Contoh dapat dilihat pada Persamaan (5.1).

 (5.1)

## Contoh Penulisan Gambar dan Acuannya

Gambar dan judul gambar diletakkan simetris kiri-kanan. Judul gambar ditulis di bawah gambar. Contoh dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1.** Contoh penulisan judul gambar dan peletakkan gambar. Gambar harus dilengkapi dengan informasi yang memadai sehingga mudah ditafsirkan tanpa harus membaca isi teks (*self-contained*). Tuliskan pula sumber gambar jika diambil dari sumber eksternal [6].

## Contoh Penulisan Tabel dan Acuannya

Tabel dan judul tabel diletakkan simetris kiri-kanan. Judul tabel ditulis di atas gambar. Contoh dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1**. Contoh penulisan tabel dan peletakkan tabel.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Header 1** | **Header 2** | **Header 3** |
| Isi | Isi | Isi |
| Isi | Isi | Isi |

Sumber: [5]

## Contoh Penulisan Acuan ke Pustaka yang Digunakan

Acuan ke pustaka yang terdapat pada Daftar Pustaka ditulis dengan angka di dalam kurung seperti ini [1]. Jika kalimat atau paragraf mengacu kepada lebih dari satu acuan, penulisannya adalah seperti ini [2-4, 6, 10].

# KESIMPULAN DAN SARAN

## Kesimpulan

Kesimpulan merupakan **rekapitulasi atau rangkuman** dari butir-butir pemikiran utama peneliti. Kesimpulan mencerminkan:

* nilai dari penelitian yang dilakukan (sebagai wujud sumbangan orisinal peneliti), dan
* pemahaman peneliti tentang apa yang ditulis.

## Saran

Dalam bagian ini juga bisa disampaikan **evaluasi** terhadap butir-butir pemikiran utama, misalnya terkait dengan kelemahan metode penelitian yang telah digunakan disertai dengan saran-saran untuk penyempurnaan.

Dianjurkan untuk menambahkan humidifier (pelembap ruangan) kepada sistem lingkungan termal *climate chamber* sebagai manipulator parameter lingkungan.

# DAFTAR PUSTAKA

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | (IEA) International Energy Agency. *Southeast Asia Energy Outlook 2015*. Paris, International Energy Agency, 2015. |
| [2] | (OECD) Organisation for Economic Co-operation and Development. *Economic Outlook for Southeast Asia, China and India : Addressing Energy Challenge*. Paris, OECD Publishing, 2017. |
| [3] | Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. *Outlook Energi Indonesia 2016*. Jakarta, Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2016. |
| [4] | M. Caballero-Anthony dan J. C. I. Trajano. "The State of Nuclear Energy in ASEAN : Regional Norms and Challenges" *Asian Perspective,* vol. 39, no. 4, pp. 695-723, 2015. |
| [5] | G. R. Sunaryo. *Development of Nuclear Power Programme in Indonesia.* Kuala Lumpur, 5th Nuclear Power Asia Summit, 2015. |
| [6] | I. N. Kessides dan V. Kuznetsov. "Small Modular Reactor fo Enhancing Energy Security in Developing Countries" *Sustainability,* vol. 4, no. 8, pp. 1806-1832, 2012. |
| [7] | W. M. Stacey. *Nuclear Reactor Physics*. Weinheim, WILEY-VCH Velrag GmbH & Co. KGaA, 2007. |
| [8] | J. Leppanen. *Serpent - A Continous-energy Monte Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code: User Manual*. VTT Technical Research Centre of Finland, 2015. |
| [9] | Y. A. Cengel. *Fluid Mechanics: Fundamental and Applications*. New York, McGraw Hill, 2006. |
| [10] | N. Tsoulfanidis. *Measurement and Detection of Radiation*. Washington, DC, Taylor & Francis, 1995. |
| [11] | World Nuclear Association. *Plutonium*. Diakses dari http://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/fuel-recycling/plutonium, 12 Agustus 2017. |

# ssfa

# f

**LAMPIRAN**

## LAMPIRAN A CONTOH LISTING PROGRAM *INPUT SERPENT*

% --- KLT-40S Assembly --------------------------------------

set title "KLT-40S"

% --- Fuel pin UO2 18.6wt% with Silumin Matrix:

surf 11 cyl 0.000 0.000 0.290 -60.00 60.00

surf 12 cyl 0.000 0.000 0.340 -60.00 60.00

cell 11 1 fuel -11 % fuel UO2 18.6wt% with Silumin Matrix

cell 12 1 clad 11 -12 % cladding zircaloy 0.5 mm

cell 13 1 water 12

% --- Large Burnable Poison UO2 18.6wt% with Silumin Matrix:

surf 51 cyl 0.000 0.000 0.290 -60.00 60.00

surf 52 cyl 0.000 0.000 0.340 -60.00 60.00

cell 51 5 lburnpo -51 % burnup pin Gd2O3 + UO2 18.6wt% + Silumin Matrix

cell 52 5 clad 51 -52 % cladding zircaloy 0.5 mm

cell 53 5 water 52

% --- Small Burnable Poison UO2 18.6wt% with Silumin Matrix:

surf 61 cyl 0.000 0.000 0.188 -60.00 60.00

% --- Small Burnable Poison UO2 18.6wt% with Silumin Matrix:

surf 61 cyl 0.000 0.000 0.188 -60.00 60.00

## LAMPIRAN B TABEL DENSITAS MATERIAL

**Tabel B.1.** Densitas ThO2 pada zona blanket aksial

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Unsur** | **A (g/mol)** | **N (1024/cm3)** |
| Th-232 | 232,038 | 0,021 |
| O-16 | 15,995 | 0,042 |