

**ESTIMASI KETINGGIAN AIR DAN TEMPERATUR UAP PADA *STEAM*
DRUM BOILER MENGGUNAKAN METODE *ENSEMBLE KALMAN*
FILTER DAN METODE *EXTENDED KALMAN FILTER* STUDI KASUS :
PT. PJB UP GRESIK PLTU UNIT 4**

SKRIPSI

Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika (S.Mat) pada Program Studi Matematika



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

Disusun oleh
ATHIFA W. FITRI KHOIRUNNISA
H72216022

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2019

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : ATHIFA W. FITRI KHOIRUNNISA

NIM : H72216022

Program Studi : Matematika

Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "Estimasi Ketinggian Air dan Temperatur Uap pada *Steam Drum Boiler* Menggunakan Metode *Ensemble Kalman Filter* dan Metode *Extended Kalman Filter* Studi kasus : PT. PJB UP Gresik PLTU Unit 4". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 30 Desember 2019

Yang menyatakan,



ATHIFA W. FITRI KHOIRUNNISA
NIM. H72216022

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

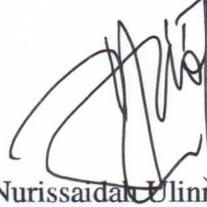
Skripsi oleh

Nama : ATHIFA W. FITRI KHOIRUNNISA
NIM : H72216022
Judul Skripsi : Estimasi Ketinggian Air dan Temperatur Uap pada *Steam Drum Boiler* Menggunakan Metode *Ensemble Kalman Filter* dan Metode *Extended Kalman Filter* Studi kasus : PT. PJB UP Gresik PLTU Unit 4

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 30 Desember 2019

Pembimbing



Nurissaidat Ulinnuha, M.Kom
NIP. 199011022014032004

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

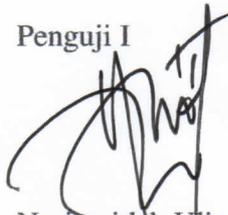
Skripsi oleh

Nama : ATHIFA W. FITRI KHOIRUNNISA
NIM : H72216022
Judul Skripsi : Estimasi Ketinggian Air dan Temperatur Uap pada *Steam Drum Boiler* Menggunakan Metode *Ensemble Kalman Filter* dan Metode *Extended Kalman Filter* Studi kasus : PT. PJB UP Gresik PLTU Unit 4

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 30 Desember 2019

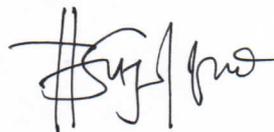
Mengesahkan,
Tim Penguji

Penguji I



Nurissaidah Ulinnuha, M.Kom
NIP. 199011022014032004

Penguji II



Yuniar Farida, M.T
NIP. 197905272014032002

Penguji III



Aris Fanani, M.Kom
NIP. 198701272014031002

Penguji IV

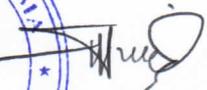


Wika Dianita Utami, M.Sc
NIP. 199206102018012003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya




Dr. Eng. Purwati, M.Ag

NIP. 196512211990022001



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : ATHIFA W. FITRI. KHOIRUNNISA
NIM : H72216022
Fakultas/Jurusan : SAINS / MATEMATIKA
E-mail address : khoirunnisaathifa@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Sekripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)

yang berjudul :

ESTIMASI KETINGGIAN AIR DAN TEMPERATUR UAP PADA STEAM DRUM BOILER MENGGUNAKAN METODE

ENSEMBLE KALMAN FILTER DAN METODE EXTENDED KALMAN FILTER STUDI KASUS : PT. PJB UP Gresik

PLTU UNIT 4

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 30 DESEMBER 2019

Penulis

(ATHIFA W. FITRI KHOIRUNNISA)
nama terang dan tanda tangan

| | |
|---|-----------|
| 2.8. Metode Extended Kalman Filter (EKF) | 21 |
| 2.9. Metode Beda Hingga | 24 |
| 2.10. Norm Matriks Kovariansi Error | 28 |
| III METODE PENELITIAN | 30 |
| 3.1. Tempat dan Waktu | 30 |
| 3.2. Objek penelitian | 30 |
| 3.3. Jenis dan sumber data | 30 |
| 3.4. Variabel Penelitian | 30 |
| 3.5. Tahapan Penelitian | 31 |
| 3.5.1. Studi literatur | 31 |
| 3.5.2. Pemodelan steam drum boiler | 31 |
| 3.5.3. Metode beda hingga | 32 |
| 3.5.4. Ensemble Kalman Filter | 32 |
| 3.5.5. Extended Kalman Filter | 34 |
| 3.5.6. Analisa dan Pembahasan | 36 |
| 3.5.7. Kesimpulan dan Saran | 36 |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1. Deskripsi Data | 37 |
| 4.2. Pre-Processing | 38 |
| 4.3. Pemodelan <i>Steam Drum Boiler</i> | 38 |
| 4.4. Metode <i>Ensemble Kalman Filter</i> (EnKF) dan Metode <i>Extended Kalman Filter</i> (EKF) | 39 |
| 4.4.1. Diskritisasi Model | 39 |
| 4.4.2. Penambahan Faktor Stokastik | 46 |
| 4.4.3. Implementasi Metode EnKF | 47 |
| 4.5. Simulasi dan Pembahasan Metode EnKF | 52 |
| 4.5.1. Ensemble 50 dan Beberapa Iterasi | 53 |
| 4.5.2. Ensemble 100 dan Beberapa Iterasi | 59 |
| 4.5.3. Ensemble 150 dan Beberapa Iterasi | 65 |
| 4.5.4. Ensemble 200 dan Beberapa Iterasi | 71 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.20 | simulasi dengan $m = 150$ dan $N = 200$ | 67 |
| 4.21 | Perbesaran simulasi dengan $m = 150$ dan $N = 200$ | 67 |
| 4.22 | simulasi dengan $m = 150$ dan $N = 300$ | 68 |
| 4.23 | Perbesaran simulasi dengan $m = 150$ dan $N = 300$ | 69 |
| 4.24 | simulasi dengan $m = 150$ dan $N = 400$ | 70 |
| 4.25 | Perbesaran simulasi dengan $m = 150$ dan $N = 400$ | 70 |
| 4.26 | simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 100$ | 72 |
| 4.27 | Perbesaran simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 100$ | 72 |
| 4.28 | simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 200$ | 73 |
| 4.29 | Perbesaran simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 200$ | 73 |
| 4.30 | simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 300$ | 74 |
| 4.31 | Perbesaran simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 300$ | 75 |
| 4.32 | simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 400$ | 76 |
| 4.33 | Perbesaran simulasi dengan $m = 200$ dan $N = 400$ | 76 |
| 4.34 | simulasi dengan $N = 100$ | 82 |
| 4.35 | Perbesaran simulasi dengan $N = 100$ | 82 |
| 4.36 | simulasi dengan $N = 200$ | 83 |
| 4.37 | Perbesaran simulasi dengan $N = 200$ | 83 |
| 4.38 | simulasi dengan $N = 300$ | 84 |
| 4.39 | Perbesaran simulasi dengan $N = 300$ | 84 |
| 4.40 | simulasi dengan $N = 400$ | 85 |
| 4.41 | Perbesaran simulasi dengan $N = 400$ | 86 |

tersebut mempunyai tekanan dan temperatur tertentu. *Steam drum* adalah salah satu alat pada *boiler* yang terdapat alat untuk memisahkan uap. *Steam drum boiler* memiliki model matematika yang nonlinear, dikarenakan pada *steam drum boiler* tersebut memiliki nilai yang berubah-ubah pada variabel ketinggian air dan variabel temperatur uap (Baskoro, B , 2009).

Hal yang sangat penting dalam proses produksi di PLTU unit 4 adalah pengukuran ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler*. Variabel tersebut akan dijaga sesuai batas yang telah ditentukan dan tidak melebihi atau kurang dari batas yang telah ditentukan karena dapat mengganggu sistem kerja dan fungsi komponen lainnya (Ahmad , 2010).

Suatu sistem akan bekerja sesuai dengan cara kerja dari setiap komponen yang terdapat di dalam suatu sistem. Keterlibatan antara satu komponen dengan komponen lainnya sangat besar karena akan mempengaruhi kerja produksi dari sistem tersebut. Oleh karena itu, diperlukan estimasi pada komponen *steam drum boiler* khususnya pada variabel ketinggian air dan temperatur uap nya agar bisa dimaksimalkan dalam proses produksi maupun perawatan komponen kerja di PLTU (Ahmad , 2010).

Metode yang dapat memperkirakan nilai dari suatu populasi dengan menggunakan nilai dari sample yang digunakan disebut estimasi. Estimasi dilakukan untuk pengukuran yang didasarkan pada hasil kuantitatif atau errornya bisa diukur dengan angka (Lewis, F , 2008).

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam estimasi seperti metode *Kalman Filter* (KF) dan lain sebagainya. Metode *Kalman Filter* dapat mengatasi permasalahan pada model linier saja dan tidak bisa digunakan untuk permasalahan pada model nonlinier. Sedangkan permasalahan yang terjadi pada kehidupan

sehari-hari menggunakan model matematika nonlinier, sehingga perlu dikembangkan metode *Kalman Filter* lainnya yang dapat mengatasi permasalahan pada model matematika nonlinier. Ada beberapa perkembangan dari metode *Kalman Filter* yang mengatasi masalah model matematika nonlinier yaitu *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) dan *Extended Kalman Filter* (EKF) (Lewis, F , 2008).

Pada penelitian ini, model matematika *steam drum boiler* berbentuk nonlinier sehingga peneliti akan membandingkan metode EnKF dan EKF dalam mengestimasi ketinggian air dan temperatur uap pada *steam drum boiler* tersebut (Lewis, F , 2008). Kedua metode ini dapat digunakan pada model matematika nonlinier sehingga penulis ingin membandingkan hasil akurasi dari kedua variabel tersebut.

Algoritma EnKF merupakan modifikasi dari metode algoritma KF yang diperkenalkan pertama kali oleh R.E Kalman pada 1960 (Welch , 2006). EnKF digunakan untuk estimasi sistem nonlinear dengan dibangkitkan beberapa *ensemble* sebagai inisialisasi untuk dihitung nilai *mean* dan kovarian error (Teguh , 2015).

Tidak hanya metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) yang digunakan pada sistem non linier dan linier, tetapi ada metode EKF yang juga digunakan pada keadaan sistem nonlinier dan linier. Metode ini merupakan salah satu modifikasi dari KF. Pada metode EKF digunakan untuk mengestimasi sistem nonlinear dengan dilakukan linierisasi apabila sistem tidak linier dan pendiskritan model apabila model tersebut kontinu dan juga beberapa tahapan metode EKF lainnya.

Ada beberapa penelitian terdahulu mengenai aplikasi metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF). Pada jurnal yang berjudul Implementasi *Ensemble Kalman Filter* Untuk Estimasi Ketinggian Air dan Temperatur Uap pada *Steam Drum Boiler* oleh Ahmad Nasrullah Jamaludin, dkk (2017) membahas tentang estimasi pada PLTU unit 1 dan 2 dan pada saat menghitung tingkat kesalahannya dipengaruhi oleh ma-

trik pengukuran masing-masing (Ahmad , 2017). Perbedaannya pada penelitian ini menggunakan PLTU unit 4 saja dan dalam menghitung tingkat kesalahannya menggunakan matrik pengukuran secara keseluruhan. Dengan kata lain, matrik tersebut terdiri dari variabel yang digunakan. Selanjutnya jurnal yang berjudul Optimasi Pada Misil Menggunakan Bang-Bang Kontrol dan *Ensemble Kalman Filter* oleh Ahmad Zaenal Arifin (2017) membahas tentang posisi misil dengan 4 parameter (Arifin , 2017), sedangkan pada penelitian ini menggunakan *steam drum boiler* dengan 2 parameter dalam kasusnya. Dalam hal ini, objek penelitian yang diteliti berbeda dengan penelitian terdahulu, oleh karena itu banyaknya parameter yang digunakan juga berbeda. Metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) ini dapat digunakan pada sistem nonlinier maupun linier, tetapi tidak semua permasalahan dapat digunakan pada metode ini, karena tidak hanya metode ini yang dapat digunakan untuk permasalahan estimasi pada sistem nonlinier dan juga berpengaruh pada perolehan hasil error. Terkadang hasil estimasi dari satu metode dan metode lainnya dengan permasalahan yang sama, dapat menghasilkan error yang berbeda pula.

Penelitian terdahulu mengenai aplikasi metode *Extended Kalman Filter* (EKF), pada jurnal yang berjudul Estimasi Posisi dan Kecepatan Kapal Selam Menggunakan Metode *Extended Kalman Filter* oleh Achmad Ichwan (2010) membahas tentang estimasi posisi dan kecepatan yang dihasilkan waktu respon yang cepat dan memiliki tingkat kesalahan hasil estimasi yang sangat kecil, sehingga dapat membantu dalam pengoptimalan kinerja dari kapal selam (Ichwan , 2010). Perbedaannya pada penelitian ini akan mengambil kasus yang berbeda tetapi dengan menggunakan metode yang sama dengan acuan tersebut.

Berdasarkan penelitian terdahulu, belum ada yang menggunakan perbandingan antara metode EnKF dan EKF, sehingga pada penelitian ini akan menghitung

punyai alur produksi dan mekanisme pengelolaannya masing-masing. Pada laporan ini akan terfokuskan pada bidang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) unit 4, dikarenakan pada bulan oktober hanya mengaktifkan unit 4 saja dalam pemenuhan permintaan listrik.

2.3. Proses Produksi Listrik di PLTU

PLTU adalah pembangkit listrik tenaga uap yang memanfaatkan daya dari hasil pembakaran bahan bakar dan udara yang dihasilkan oleh sistem turbin uap untuk menghasilkan listrik. Ada beberapa komponen penting PLTU seperti *burner*, kondensor, pompa, *boiler*, turbin uap, generator, trafo utama dan alat bantu lainnya. Unit PLTU memanfaatkan energi panas dan uap dari gas buang hasil pembakaran untuk memanaskan air pada *burner* sehingga menghasilkan uap jenuh yang kering. Uap jenuh ini kemudian yang akan digunakan untuk memutar rotor turbin dan kemudian menggerakkan generator (Academy, 2018).

Bahan bakar dalam PLTU PT. PJB UP Gresik adalah bahan bakar gas alam, minyak residu dan HSD atau solar. Proses yang terjadi di PLTU merupakan siklus tertutup. Proses tersebut mula-mula mengambil air laut dan dijadikan air tawar yang diolah melalui peralatan *desalination plant*, kemudian air tawar tersebut akan digunakan sebagai media kerjanya. Air tersebut disebut dengan *water makeup*. Air tersebut dipanaskan sesuai dengan syarat untuk memasuki *boiler* melalui peralatan *water treatment*. Kemudian uap air tersebut akan masuk ke dalam alat kondenser untuk didinginkan sesuai dengan batas yang diinginkan. Setelah itu disalurkan untuk mengalami proses pemanasan sebanyak tiga kali dan masuk ke mesin *Generator* yang berfungsi untuk menghilangkan oksigen dan partikel-partikel lainnya sebelum masuk ke *steam drum boiler*. Kemudian dilanjutkan proses pemanasan dengan temperatur tinggi lagi sesuai dengan syarat *boiler*. Air yang telah memenuhi

gunakan RMSE. Metode EKF mengalami performa yang lebih baik dalam mengestimasi ketinggian air dan temperatur uap dengan menunjukkan hasil error pada setiap parameter nya $\leq 0,5$. Semakin banyak iterasi yang dilakukan pada metode EKF akan menghasilkan error yang semakin baik. Hal tersebut berbanding terbalik dengan metode EnKF, karena hanya pada parameter temperatur uap yang memiliki nilai error yang $\geq 0,5$.

5.2. Saran

Setelah membahas dan mengimplementasikan metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) dan metode *Extended Kalman Filter* (EKF), penulis ingin menyampaikan saran yaitu dengan Membandingkan metode Kalman Filter lainnya dalam mengestimasi ketinggian air dan temperatur uap agar diperoleh hasil yang lebih baik lagi.

- Lewis, F.2008, *Optimal Estimation with an Introduction to Stochastic Control Theory*, Georgia: School of electrical Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta.
- Welch, G dan Bishop, G., 2006, *An Introduction to The Kalman Filter*, University of North Carolina.
- Tirta, I.M., 2009, *Analisis Regresi dengan R (ANRER)*, Jember, UNEJ Press.
- Purnomo, K.D., 2008, *Aplikasi Metode Ensemble Kalman Filter pada Model Populasi Plankton*, Surabaya.
- Kleeman, L., 2007, *Understanding and Applying Kalman Filtering*, Clayton: Monash University.
- Ngaini, Nur.2012, *Estimasi Parameter Model Regresi Linier Pada Data yang Mengandung Outliner Dengan Metode Maximum Likelihood Estimation*, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Wicaksono, R.D., 2010, *Penerapan Metode Extended Kalman Filter Untuk Medeteksi Waktu Terjadinya Kerak Pada Alat Penukar Panas*.
- Herlambang, Teguh .dkk, 2011, *Desain Pengendalian Air dan Temperatur Uap pada Steam Drum Boiler Dengan Metode Sliding Mode Control (SMC)*, Yogyakarta.
- Herlambang, Teguh., Djatmiko E.B and Nurhadi H.2015, *Ensemble Kalman Filter with a square root scheme (EnKF-SR) for Trajectory Estimation of AUV SEGOROGENI ITS*, International Review of Mechanical Engineering IREME Journal.
- Veerasingam, Ravichandran., Harish Rajak, Abhishek Jain, Shalini Sivadasan, Christopher P. Varghese and Ram Kishore Agrawal.2011, *Validation of QSAR Models - Strategies and Importance*, International Journal of Drug Design and Discovery.