

Tracking Aktivitas Manusia Dalam Ruangan Menggunakan Kalman Filter

Jessica ¹⁾ Lina²⁾

^{1) 2)} Teknik Informatika Universitas Tarumanagara

Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta 11440 Indonesia

¹⁾email: jessica.535150071@stu.untar.ac.id ²⁾email: lina@untar.ac.id

ABSTRACT

With the increase of many households using surveillance systems for security, unlike office and mall buildings which own security human resources, house owners make time to manually check security footages. This gives house owners inconvenience and owning a security system seems more tedious, therefore inefficient if the footage is rarely seen. AI makes it possible to automatically check security footages. Using footage taken from a special room in home, susceptible for security breach and strategic, for example living room. This App works as a tool for homeowners, giving information about indoor activity. Information is given in a form of video footage of human tracking results containing trajectory line and activity log. Hence home owners will be able to supervise certain rooms and human behavior. Adopting point tracking as a detecting method, the target object is detected using background subtraction and image preprocessing to obtain centroid point, an input for statistical prediction of Kalman filter. Testing results showed that RMSE of Kalman filter prediction is higher than background subtraction when compared to true location, therefore background subtraction is used for Kalman filter's RMSE. Resulting in RMSE for two scenarios are 85,08 and 89,28, this app also shows overall accuracy of 65,43%, precision of 70,56% and recall of 63,18% in total.

Key words

Background Subtraction, Kalman Filter, Tracking Manusia Dalam Ruangan, Tracking Objek

1. Pendahuluan

Kecerdasan buatan memungkinkan terjadinya pengecekan video secara otomatis. Pada pengawasan bangunan skala kecil, dipilih sebuah ruangan yang sifatnya strategis dan rentan ancaman misalnya ruang tamu. Aplikasi ini akan bekerja menjadi alat bantu pemilik dengan memberikan informasi dalam ruangan tersebut. Informasi yang disediakan dalam bentuk video hasil visual, yaitu

hasil pengolahan dengan trayektori (lintasan) dan data berupa log aktivitas. Sehingga pemilik tidak harus meluangkan waktu memeriksa rekaman pengawasan dengan seksama, namun bisa mengawasi ruangan beserta gerak gerak manusia. Metode tracking objek dikategorikan menjadi tiga yaitu point tracking, kernel tracking dan silhouette tracking. Silhouette tracking menggunakan bentuk objek dan evolusi kontur untuk tracking[1]. Kernel tracking menggunakan template atau macam-macam penampakan objek untuk tracking[2]. Point tracking menggunakan titik lokasi objek untuk tracking yaitu yang akan digunakan pada sistem ini. Sistem yang dirancang merupakan point tracking bersifat statistik menggunakan kalman filter. Perbedaan rancangan ini dengan rancangan yang sebelumnya pernah dibuat[3][4] adalah tracking objek dilakukan di dalam ruangan dan objek target dicatat interaksinya dengan benda di dalam ruangan tersebut. Dimana rancangan sebelumnya tracking dilakukan di luar ruangan, melakukan prediksi jalur objek dan menghitung banyaknya objek target di luar ruangan tersebut.

2. Landasan Teori

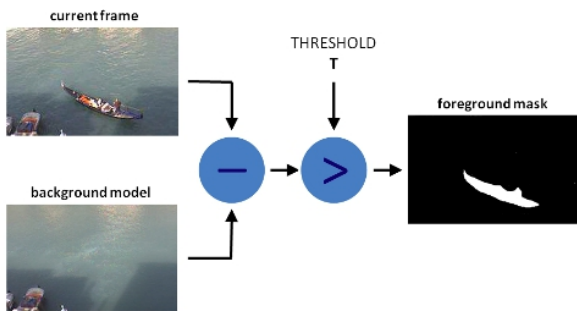
2.1 Video Tracking

Video tracking merupakan sebuah proses mencari lokasi dari satu atau banyak objek bergerak seiring waktu dengan sensor kamera. Memiliki kegunaan untuk interaksi manusia-komputer, keamanan dan pengawasan, komunikasi dan kompresi video, *augmented reality*, pengaturan lalu lintas, pencitraan medis dan pengeditan video. Video tracking bertujuan untuk mengasosiasikan objek target di dalam bingkai video secara konsekutif. Kegiatan asosiasi ini memerlukan sebuah model gerakan mendeskripsikan bagaimana citra target mungkin berubah menjadi gerakan-gerakan lain. Algoritma menganalisis sekuensi bingkai video dan memberikan keluaran pergerakan target antar bingkai. Representasi target dengan lokalisasi merupakan metode menggunakan berbagai variasi

alat untuk mengidentifikasi objek bergerak. Filtering dengan asosiasi data merupakan metode melibatkan penggabungan informasi awal mengenai latar belakang atau objek, dinamika objek, dan evaluasi hipotesis.

2.2 Background Subtraction

Background Subtraction merupakan teknik apapun yang membuat latar depan citra diekstraksi untuk pemrosesan. Merupakan metode yang populer digunakan untuk pendeteksian objek bergerak pada video dari kamera statis.



Gambar 1 Operasi background subtraction

2.3 Kalman Filter

Diberi nama dari Rudolf E. Kalman (13 Mei 1930 – 2 Juli 2016), Kalman mendeskripsikan solusi rekursif pada permasalahan filter pada data linear diskrit. Bahwa hanya state yang diestimasi pada satu langkah sebelum dan sekarang saja yang dibutuhkan untuk mengkomputasi estimasi sekarang. Menghasilkan estimasi dari variabel tersembunyi berdasarkan kesalahan dan ketidakpastian pengukuran. Kalman filter dapat digunakan ketika informasi yang dimiliki tentang sistem dinamika tidak pasti dan ingin melakukan *educated guess* dari keluaran dinamika sistem selanjutnya.

Kalman filter memiliki dua model yaitu model dinamika sistem dan model pengukuran. Model dinamika sistem untuk mentracking objek, mengestimasi sebuah vektor *state* yang terdiri atas parameter target, seperti posisi dan kecepatan target. Sehingga komputasi kalman filter untuk tracking objek yang bergerak 2D didasarkan atas lima ekuasi dibawah ini.

Dua ekuasi prediksi state yaitu:

1. State prediction/extrapolation equation

$$\hat{x}_{n+1,n} = F\hat{x}_{n,n} + G\hat{u}_{n,n} + w_n \quad (2)$$

Keterangan:

$\hat{x}_{n+1,n}$ = vektor prediksi state pada waktu n+1

$\hat{x}_{n,n}$ = vektor estimasi state pada waktu n

$\hat{u}_{n,n}$ = matriks variabel masukkan atau kontrol

w_n = noise proses

F = matriks transisi state

G = matriks kontrol atau transisi input, memetakan kontrol kedalam variabel state

2. Covariance prediction/extrapolation equation

$$P_{n+1,n} = FP_{n,n}F^T + Q \quad (3)$$

Keterangan:

$P_{n+1,n}$ = matriks estimasi ketidakpastian (covariance) dari state selanjutnya

$P_{n,n}$ = matriks estimasi ketidakpastian (covariance) dari state sekarang

F = matriks transisi state

Q = matriks noise proses

Dua ekuasi untuk pembaharuan state yaitu:

1. State update equation

$$\hat{x}_{n,n} = \hat{x}_{n,n-1} + K_n(z_n - H\hat{x}_{n,n-1}) \quad (4)$$

Keterangan:

$\hat{x}_{n,n}$ = vektor estimasi state pada waktu n

$\hat{x}_{n,n-1}$ = vektor prediksi state pada waktu n-1

z_n = pengukuran

K_n = kalman gain

H = matriks observasi

2. Covariance update equation

$$P_{n,n} = (I - K_nH)P_{n,n-1} \quad (5)$$

Keterangan:

$P_{n,n}$ = matriks estimasi ketidakpastian (covariance) dari state sekarang

$P_{n,n-1}$ = matriks estimasi ketidakpastian (covariance) dari state sekarang yang diprediksi state sebelum

K_n = kalman gain

H = matriks observasi

Satu ekuasi nilai berat kalman yaitu kalman gain equation:

$$K_n = \frac{P_{n,n-1}H^T}{HP_{n,n-1}H^T + R_n} \quad (6)$$

Keterangan:

K_n = kalman gain

$P_{n,n-1}$ = matriks estimasi ketidakpastian (covariance) dari state sekarang yang diprediksi state sebelum

R_n = ketidakpastian pengukuran

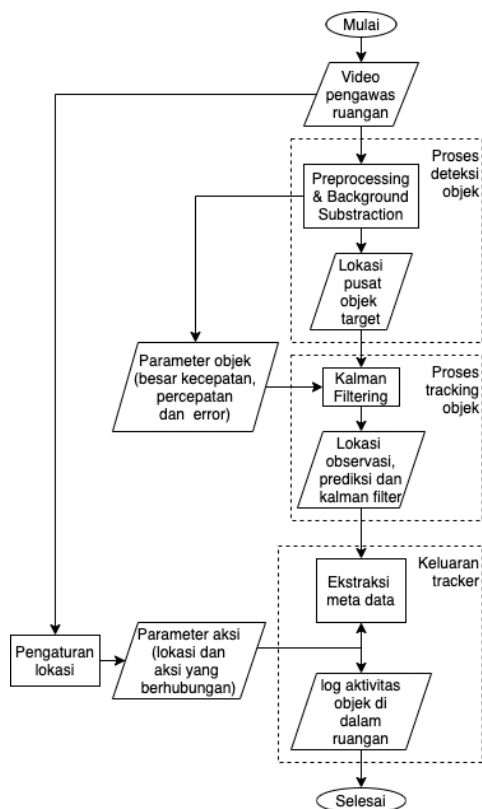
2.4 Kalman Filter tanpa noise

Dalam penggunaannya, kalman filter bersifat sangat dinamis mengikuti bagaimana pembangun sistem menggambarkan situasi dan relasi antar model. Walaupun tidak disarankan oleh pelopornya, penghilangan noise merupakan penyederhanaan yang merupakan variasi dari penggunaan kalman filter. Dengan menggambarkan situasi yang ada bebas dari error, kalman filter dapat berbentuk skalar tanpa error[4]. Pada penelitian ini sistem digambarkan sepenuhnya bebas dari error dengan dinamika yang konstan.

Kalman filter dalam perhitungannya memperhitungkan empat buah noise yang

dilambangkan sebagai $|z_n, w_n, Q$ dan $|R$. $|z_n$ adalah noise observasi pada satuan waktu dan $|w_n$ adalah noise proses, keduanya bersifat tersembunyi dan nilainya didapat dari sebaran mariks noise masing-masing. $|Q$ adalah matriks noise proses dan $|R$ adalah matriks noise observasi, kedua matriks ini nilai errornya ditentukan oleh pembuat sistem. Menentukan kedua matriks ini sangat sulit karena tidak mudah untuk bisa memberikan nilai estimasi error dan ini sangat mempengaruhi hasil filter[5]. Untuk perancangan sistem ini digunakan penggambaran sistem bebas noise dengan gangguan noise random ($|R$). Sensor kamera ponsel memiliki noise mesin yang disajikan dalam $|Q$ dan $|w_n$. Melesetnya nilai piksel objek manusia yang sebenarnya dengan hasil deteksi akan disajikan dalam $|z_n$. Dengan maraknya variasi kamera ponsel membuat noise mesin menjadi bervariasi, nilai lokasi piksel yang diberikan oleh sensor berakurasi tinggi sehingga noise ini akan diabaikan.

3. Metode Tracking Aktivitas Manusia Dalam Ruangan Menggunakan Kalman Filter



Gambar 2 Alur tracking manusia dalam ruangan menggunakan Kalman filter

3.1 Video Pengawas Ruangan

Masukan video aplikasi, diambil dari kamera smartphone android yang diletakan diatas tripod dengan spesifikasi 13MP. Dengan berbagai sudut dan pengaturan lokasi dan objek sebagai berikut:

Tabel 1 Tabel lokasi ruangan beserta objek pengujian

No	Lokasi	Ruangan utama	Objek interaksi
1	Rumah	Ruang Tamu	Pintu masuk
			Pintu kamar mandi
			Lorong dapur
			Dispenser air
			Treadmill
2	Kantor	Ruang Showroom	Pintu masuk
			Pintu pantry
			Display kiri
			Display kanan
			Dispenser air

3.2 Proses Deteksi Objek

Video diolah dengan teknik preprocessing citra dan background subtraction menggunakan *library* OpenCV, mencari nilai yang tepat untuk deteksi objek. Hasilnya nilai pusat objek target yang diberi titik yang dihubungkan menjadi garis berwarna putih. Nilai pusat dihitung dari lebar dan tinggi, kontur foreground terbingkai, dibagi dua.

3.3 Proses Tracking Objek

Selanjutnya dicari besaran kecepatan dan percepatan target menggunakan perpindahan piksel objek dan *frame rate*, serta memperkirakan besar error dengan varian dan standar deviasi. Hal ini dibutuhkan untuk memenuhi kriteria model sistem objek bergerak dan model perhitungan kalman, semua variabel ini akan dimasukkan kedalam rumus kalman filter menggunakan *library* FilterPy untuk dihitung. Nilai-nilai dikategorikan menjadi nilai observasi, nilai-nilai prediksi dengan kalman gain adalah nilai kalman filter dan nilai deteksi sebelum diberikan kalman filter.

3.4 Keluaran Tracker

Benda dalam ruangan dimasukkan range lokasi pikselnya dan diasosiasikan dengan informasi aktivitas berupa teks yang dicatat dalam log. Ketika tracking berhenti dan nilai titik tengah target bertumpukan dengan objek diasumsikan objek sedang menggunakan benda dalam ruangan. *Library* matplotlib juga digunakan untuk menampilkan grafik hasil lintasan tracker.

4. Eksperimen dan Hasil

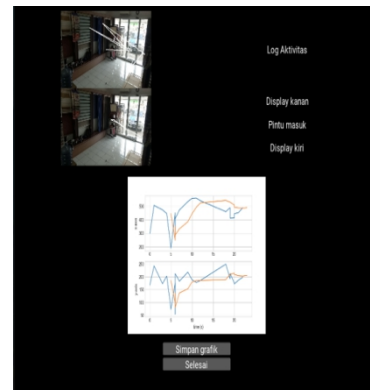
Percobaan menggunakan 10 data latih dan 95 data uji. Data uji digunakan untuk kalibrasi tinggi dan lebar kontur, bidang noise, dan guessing error kalman filter. Kumpulan video yang diambil di dua lokasi memiliki lokasi, sudut kamera, dan letak objek, kualitas iluminasi dan clutter beragam. Perekaman video siang hari, dimana terjadi backlight dan jumlah aksi banyak tingkat clutter meningkat, dengan gangguan vibrasi kamera.

Melalui pengujian ini dapat dilihat bahwa aplikasi bekerja baik dalam membuat lintasan trayektori objek target manusia khusus pergerakan di dalam ruangan ketika objek bergerak di dalam bidang pandang kamera dan menggunakan benda-benda yang ada di dalamnya dalam waktu yang lama. Jika durasinya singkat dan ketika target bergerak ke ruangan lain, terputusnya masukan lokasi dan hilangnya target dianggap sebagai noise dan diabaikan sehingga terjadi trackloss.

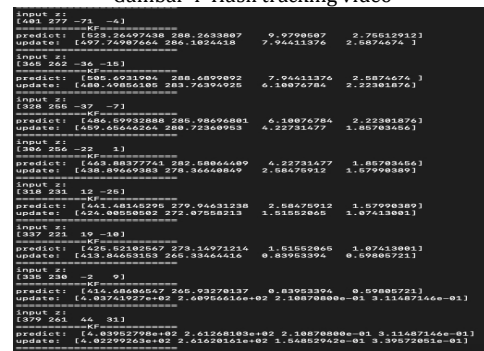
Pemberian nilai guessing error kalman filter yaitu 0.9 dari besar standar deviasi ternyata masih terlalu besar. Membuat kalman filter tidak dapat memberikan prediksi yang lebih baik, saat deteksi Background Subtraction memiliki lintasan yang akurat. Namun ketika deteksi Background Subtraction lintasannya sangat tidak akurat, kalman filter dapat dengan baik memberikan jalur lintasan yang sedikit lebih akurat. Sehingga kedepannya diperlukan sebuah modul tambahan pengaturan besar proporsi error untuk meningkatkan kinerja kalman filter.



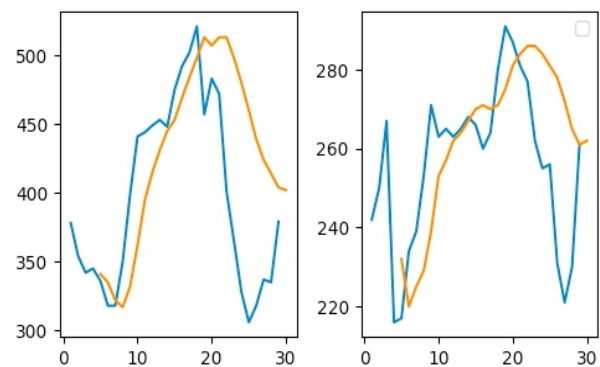
Gambar 3 Pengaturan tracking video



Gambar 4 Hasil tracking video



Gambar 5 Perhitungan Kalman filter pada aplikasi



Gambar 6 Hasil lintasan Background Subtraction(biru) dan KF (oranye) pada axis x(kiri) dan y(kanan)

5. Evaluasi

Untuk mengevaluasi kinerja aplikasi tracking ini digunakan metode RMSE (Root Mean Square Error) dan Confusion matrix, untuk mengukur tingkat kesalahan dari metode prediksi. Menggunakan nilai observasi sebagai acuan RMSE, nilai deteksi Background Subtraction dibandingkan dengan nilai prediksi KF, diketahui bahwa nilai deteksi Background Subtraction lebih kecil. Menyatakan nilai deteksi Background Subtraction lebih dekat kepada nilai observasi daripada nilai prediksi KF sehingga dijadikan acuan untuk RMSE KF. Melalui itu didapatkan RMSE sebesar 85,08 dan 89,28 untuk dua

lokasi. RMSE terbaik berada di video lokasi kantor sebesar 32,89.

Confusion matriks dipakai untuk mengetahui performa tracking KF dan kegiatan asosiasi data aksi. Melalui perhitungan kepada 80 video didapatkan besar akurasi 65,43%, besar presisi 70,56%, dan besar recall 63,18%. Akurasi terendah didapat di video lokasi rumah dengan besar akurasi 38,4%, besar presisi 45% dan besar recall 33% dengan skenario pindah ke ruangan lain.

6. Kesimpulan

1. Aplikasi ini memiliki batasan yaitu tidak dapat mengenali aksi manusia pindah ke ruangan lain, deteksi waktu mulai atau selesai aksi, dan menghitung kuantitas orang.
2. Deteksi objek tanpa KF cukup baik dalam memberikan nilai tengah lokasi objek yang dekat dengan sebenarnya, namun tetap membutuhkan kalman filter untuk mengatasi deteksi objek palsu.
3. Aplikasi ini hanya dapat mendeteksi satu orang saja
4. Aplikasi ini tetap dapat bekerja namun kurang baik pada video lokasi berclutter, pencahayaan buruk dan vibrasi kamera.
5. Metode kalman filter ini cocok untuk mengatasi error dan kurang cocok ketika error rendah, karena memerlukan kalibrasi ulang guessing error.
6. Aplikasi ini secara keseluruhan mampu mendeteksi objek manusia dan melakukan tracking secara baik dengan besar akurasi 65,43%, besar presisi 70,56%, dan besar recall 63,18%.
7. Tingkat akurasi tertinggi dan RMSE terendah adalah di lokasi kantor dengan akurasi sebesar 66% dan RMSE 85,08.
8. Diperlukan modul tambahan pengaturan kalman filter, kalibrasi kalman filter dengan memperkecil besar waktu dan guessing error untuk meningkatkan kinerja ketika masukan akurat.
9. Menggunakan CCTV untuk mengambil sampel video.
10. Menggunakan metode evaluasi yang lebih baik dari RMSE dan acuan RMSE KF yang lebih baik dari background subtraction.

REFERENSI

- [1] Jawas, Naser dan Sumiari, Ni Kadek. "Pelacakan Gerak Tangan dengan Metode Metode Pelacakan Objek Berbasis Korelasi". *Jurnal SMARTICS*, Vol 4, No.2, (Oktober, 2018). h. 39-43.
- [2] Fahriannur, A.; Mardiyanto, R. dan Siswanto, M. "Sistem Pelacakan Objek Menggunakan Kombinasi Algoritma Optical Flow dan Template Matching", *Jurnal*

Teknologi dan Sistem Komputer, vol.6, no.1, (Januari, 2018), h. 13-17.

- [3] Soeleman, M.Arief, et al., *Tracking Moving Objects based on Background Subtraction using Kalman Filter*. <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.24-10-2018.2280505>, 18 September 2020.
- [4] Taylor, Liana Ellen.; Mirdanies, Midriem dan Saputra, Roni Permana. "Optimized Object Tracking Technique using Kalman Filter". *Journal of Mechatronics, Electrical Power, Vehicular Technology*. Vol. 7, (July, 2016). h.57-66.
- [5] Syarifudin, Agus N. A.; Merdekawati, Dian A. dan Apriliani, Erna. "Perbandingan Metode Kalman Filter, Extended Kalman Filter, dan Ensemble Kalman Filter pada Model Penyebaran Virus HIV/AIDS". *Journal Mathematics and Its Applications*. Vol. 15, No.1, (Maret, 2018). h.17-29.
- [6] Bozic, S. M. *Digital and Kalman filtering: an introduction to discrete-time filtering and optimum linear estimation*. Second Edition. New York: Dover, 2018.
- [7] Brookner, Eli. *Tracking and Kalman Filtering Made Easy*. First Edition. New York:Wiley-Interscience, 1998.
- [8] Cavallaro, Andrea dan Maggio, Emilio. *Video tracking : theory and practice*. First Edition. Chichester: Wiley, 2011.
- [9] Distanto, Archangelo dan Distanto, Cosimo. *Handbook of Image Processing and Computer Vision Volume 1: From Energy to Image*. Cham: Springer, 2020.
- [10] Saho, Kenshi. "Kalman Filter for Moving Object Tracking: Performance Analysis and Filter Design". IntechOpen, DOI: 10.57772/intechopen.71731, (Desember, 2017).
- [11] Ågren, S. *Object tracking methods and their areas of application: A meta-analysis : A thorough review and summary of commonly used object tracking methods*. http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1109445&ds_wid=5277, 22 September.
- [12] Babb, Tim. *How a Kalman filter works, in pictures*. <http://www.bzarg.com/p/how-a-kalman-filter-works-in-pictures/>, 22 September 2020.
- [13] Becker, Alex. *KALMAN FILTER*. <https://www.kalmanfilter.net/default.aspx>, 2 April 2020.
- [14] Esme, Bilgin. *Kalman Filter For Dummies*. <http://bilgin.esme.org/BitsAndBytes/KalmanFilterforDummies>, 23 September 2020.
- [15] Henderson, Tom. *Speed and Velocity*. <https://www.physicsclassroom.com/class/1DKin/Lesson-1/Speed-and-Velocity>, 23 September 2020.
- [16] OpenCV. *How to Use Background Subtraction Methods*. https://docs.opencv.org/master/d1/dc5/tutorial_bgro und_subtraction.html, 11 september 2020.
- [17] OpenCV. *Introduction*. <https://docs.opencv.org/master/d1/dfb/intro.html>, 22 Januari 2021.
- [18] Purno Wahyu Wibowo, Ari. *Implementasi Kalman Filter Algoritma (KFA) Pada Kamera Keamanan Kampus*. <https://docplayer.info/60579151-Implementasi-kalman-filter-algoritma-kfa-tracking-pada-kamera-keamanan-kampus.html>, 18 September 2020.

- [19] R. Labbe, Roger. FilterPy. <https://filterpy.readthedocs.io/en/latest/>, 22 Januari 2021.
- [20] Soares Schlindwein, Fernando. How to find Velocity and Acceleration between two frames in video. https://www.researchgate.net/post/How_to_find_the_Velocity_and_Acceleration_between_two_frames_in_video, 18 September 2020.
- [21] Swersky, Dave. The SDLC: 7 phases, popular models, benefits & more [2019]. <https://raygun.com/blog/software-development-life-cycle/>, 18 September 2020.
- [22] Wikipedia. Foreground detection. https://en.wikipedia.org/wiki/Foreground_detection, 11 September 2020.

Jessica, mahasiswa S1, program studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Tarumanagara.

Lina, memperoleh gelar S.T. dari Universitas Tarumanagara tahun 2001. Tahun 2004 memperoleh gelar M.Kom. dari Universitas Indonesia, Indonesia. Kemudian tahun 2009 memperoleh gelar Ph.D. dari Information Science Nagoya University, Jepang. Saat ini sebagai Staf Pengajar program studi Teknik Informatika Universitas Tarumanagara.