

Peranan Fuzzy dalam Pengamanan Informasi

Eka Ardhiyanto^{1*}, Hari Murti^{2*}, Endang Lestariningsih³, Rara Sriartati Redjeki⁴, Edy Supriyanto⁵

^{1,3} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Stikubank Semarang

^{2,4,5} Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Stikubank Semarang

Jl. Tri Lomba Juang No. 1, Semarang 50241.

*Email: ekaardhiyanto@edu.unisbank.ac.id, harimurti@edu.unisbank.ac.id

Abstrak

Pengamanan informasi sudah menjadi hal yang wajib dalam era revolusi teknologi informasi. Penggunaan internet dalam perangkat cerdas dan multiplatform akan menjadi celah bagi kriptanalis untuk mencurangi informasi. Kriptografi adalah salah satu teknik pengamanan informasi yang hingga saat ini memiliki banyak metode didalamnya. Meskipun demikian, informasi yang sandikan akan tetap memiliki celah kelemahan. Penggabungan teknik kriptografi dengan metode fuzzy banyak diusulkan dalam rangka peningkatan kualitas informasi yang disandikan. Dengan melakukan penelusuran sistematis literatur, ditemukan beberapa artikel yang mulai menggabungkan kriptografi dan fuzzy. Penelusuran ini bertujuan untuk melihat bagaimana peranan fuzzy dalam bidang kriptografi. Hasil yang diperoleh adalah adanya peningkatan kualitas bentuk pengamanan informasi yang dipadukan dengan fuzzy melalui beberapa cara. Selain itu, penggunaan fuzzy juga tidak terbatas dalam peningkatan keamanan. Fuzzy juga berperan dalam pemilihan kunci dan password terbaik serta penerbitan angka acak dari sebuah PRNG.

Kata kunci: fuzzy, informasi, kriptografi, keamanan informasi

PENDAHULUAN

Revolusi dalam teknologi internet telah beralih dengan cepat. Diawali dengan World Wide Web pada masanya kini telah beralih menjadi penggunaan perangkat cerdas seperti smartphone dan sensor. Banyak platform aplikasi yang dibangun untuk menghubungkan perangkat perangkat tersebut. Tujuan utamanya adalah untuk melakukan pertukaran data dan informasi.

Sebuah komunikasi data melalui jaringan terbuka akan menghadapi berbagai ancaman keamanan serta akan menjadi rentan terhadap sebuah kecurangan. Setiap perangkat yang terhubung dengan internet, tentunya sudah memiliki mekanisme pengamanan standar tersendiri yang disesuaikan dengan kemampuan setiap perangkat. Mekanisme tersebut merupakan sebagai teknik pengamanan informasi.

Kriptografi adalah sebuah bidang keilmuan yang bertujuan untuk mengamankan informasi dengan cara membuat informasi tersebut menjadi sulit dilihat dengan bantuan sebuah password atau kunci (Sadkhan &

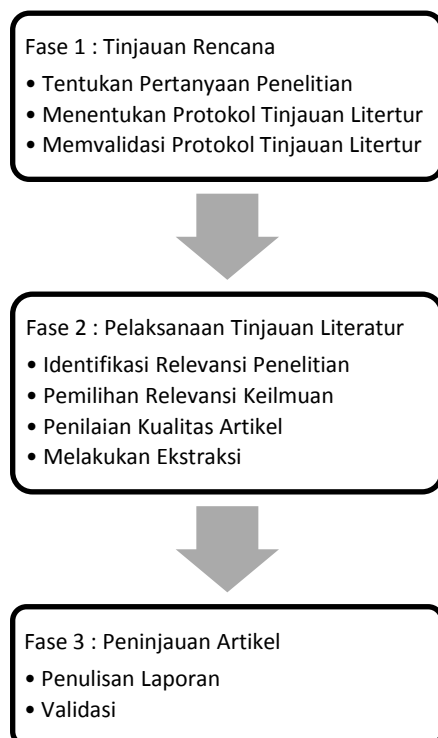
Salman, 2018). Banyak algoritma kriptografi yang dikembangkan hingga saat ini dengan kelebihan dan kekurangannya. Hal ini bertujuan untuk mempersulit seorang kriptanalis dalam memecahkan informasi yang diamankan. Semakin sulit dan semakin informasi menjadi acak adalah sebuah tantangan bagi para pengembang metode kriptografi. Salah satu teknik yang dapat membantu meningkatkan keamanan informasi adalah dengan menggabungkan beberapa metode kedalam teknik kriptografi, salah satunya adalah logika fuzzy.

Logika fuzzy adalah pendekatan untuk pemecahan masalah yang memberikan derajat kebenaran dari sebuah solusi biner benar atau salah yang umum (Sadkhan & Salman, 2018) (Sethuraman et al., 2019). Sistem pengambilan keputusan yang didasarkan pada logika fuzzy menyerupai cara manusia mengambil keputusan, dengan memiliki tingkat kebenaran. Ini bisa sangat berguna dalam menganalisis dan meningkatkan kinerja pendekatan kriptografi pada platform yang berbeda.

Penggabungan dua metode untuk saling menutup celah kekurangan pada salah satu algoritma. Artikel ini akan mengulas peranan metode fuzzy dalam bidang kriptografi dengan mengadopsi proses tinjauan literatur sistematis.

METODE

Studi empiris dibidang ilmu komputer saat ini lebih sering digunakan untuk melihat fenomena yang ada. Penelusuran dalam artikel ini mengadopsi teknik Tinjauan Literatur Sistematis seperti pada (Brereton et al., 2007). Proses tinjauan ditunjukkan pada gambar 1. Tinjauan Literatur Sistematis bertujuan untuk memberikan tinjauan komprehensif literatur terkini yang relevan dengan beberapa rumusan masalah. Beberapa artikel di bidang rekayasa ilmu komputer mengadopsi (Brereton et al., 2007) untuk melakukan tinjauan literatur sistematis.



Gambar 1. Alur Proses Tinjauan Literatur Sistematis. Diadopsi dari (Brereton et al., 2007)

Proses Tinjauan Literatur terdiri dari tiga fase dengan sembilan aktivitas. Pada fase pertama, sebagai pertanyaan penelitian 1 (RQ) ialah apa peranan fuzzy dalam kriptografi?. Pertanyaan penelitian ini ditentukan pada fase awal sebelum melakukan tahap lebih lanjut.

Protokol peninjauan literatur mencakup sumber yang akan digunakan, periode waktu artikel yang akan di tinjau, kata kunci yang digunakan. Protokol tinjauan literatur ditunjukkan pada tabel 1. Sumber yang digunakan adalah artikel penelitian yang terindeks pada Google Cendikia yang terbit pada tahun 2017 hingga 2021. Hal ini dipandang karena bentuk pengembangan lebih lanjut akan menemukan pengembangan terkini dari artikel yang didapatkan. Artikel yang akan ditinjau adalah artikel yang diterbitkan pada Jurnal dan Prosiding.

Tabel 1. Protokol Tinjauan Literatur Sistematis

| Tahun Penerbitan Artikel | Sumber | Kata Kunci Pencarian |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 2017 – 2021 | Google Cendikia | cryptography fuzzy logic |

Pengumpulan artikel didasarkan pada kata kunci pencarian pada Tabel 1 yang bersesuaian dengan kata kunci dan abstrak artikel yang dapat diunduh. Kriteria kualitas yang ditetapkan untuk menilai studi adalah mengklasifikasikan makalah dalam ulasan jika berisi model, eksperimen atau kerangka kerja. Data yang diperlukan diekstraksi dari artikel yang didapatkan untuk menjawab pertanyaan penelitian yang diajukan.

Langkah lain yang dilakukan dalam proses pencarian adalah mencari pada area kerja terkait dari artikel yang dipilih untuk meningkatkan kekuatan ulasan dengan mengonfirmasi bahwa tidak ada referensi berharga yang terlewatkan selama proses literasi. Data yang dikumpulkan disintesis untuk menunjukkan hasil yang lengkap. Pada fase ketiga dari proses Tinjauan Literatur adalah menuliskan laporan dan memvalidasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Tinjauan Sistematis Literatur

Tinjauan literatur yang dilakukan dengan kata kunci pencarian mendapatkan hasil sebanyak 13300 artikel yang ditampilkan oleh sumber. Dengan batasan tahun penerbitan artikel, di dapatkan 25 artikel yang relevan dengan pertanyaan penelitian. Tabel 2 menunjukkan distribusi artikel pertahun yang didapatkan pada tinjauan literatur. Dan Tabel 3

menunjukkan jenis artikel jurnal dan artikel prosiding. Dengan adanya artikel yang masih di dapatkan dalam proses penelusuran literatur, maka dapat dilihat bahwa metode fuzzy turut berperan dalam perkembangan teknik kriptografi.

Tabel 2. Tahun Publikasi Artikel

| Tahun Publikasi | Jumlah |
|-----------------|--------|
| 2017 | 7 |
| 2018 | 8 |
| 2019 | 4 |
| 2020 | 6 |

Tabel 3. Jenis Artikel

| Jenis Artikel | Jumlah |
|-------------------|--------|
| Artikel Jurnal | 10 |
| Artikel Prosiding | 15 |

Dari proses ekstraksi artikel, diperoleh hasil dua kluster penggunaan fuzzy dalam pengamanan informasi. Kluster pertama adalah terdapat 21 artikel yang membahas tentang penggunaan fuzzy dalam kriptografi dan kluster kedua terdapat 4 artikel yang menggunakan fuzzy dalam bidang steganografi. Dalam kluster pertama, penggunaan fuzzy dalam kriptografi dikelompokkan menjadi tiga kelompok peranan fuzzy. Pertama penggunaan fuzzy dalam peningkatan keamanan informasi, kedua penggunaan fuzzy dalam penerbitan kunci dalam teknik kriptografi dan ketiga adalah penggunaan fuzzy untuk menerbitkan angka acak dalam kriptografi. Tabel 4 memperlihatkan hasil pengelompokan artikel berdasarkan proses ekstraksi.

Tabel 4. Hasil Ekstraksi Artikel

| Artikel | Kelompok Bahasan | | | |
|-------------------------------|------------------|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| (Eid & Mohamed, 2017) | - | Y | - | - |
| (Anikin & Alnajjar, 2017) | - | - | - | Y |
| (Muthumeenakshi et al., 2017) | - | Y | - | - |
| (Vanmathi & Prabu, 2018) | Y | - | - | - |
| (Abdullah et al., 2017) | - | Y | - | - |
| (Bansal et al., 2017) | - | Y | - | - |
| (Tubthong & Suttichaya, 2017) | - | - | Y | - |
| (Sailaja, et al., 2018) | - | - | Y | - |
| (Sadkhan & Salman, 2018) | - | Y | - | - |
| (El-Khamy & Mohamed, 2018) | - | - | Y | Y |
| (Ngoc Nguyen et al., 2018) | - | - | - | Y |
| (Yuvaraja & Sabeenian, 2019) | Y | - | - | - |
| (Yusuf & Hagra, 2018) | Y | - | - | - |

| | | | | |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| (Vetrivel, et al., 2018) | - | - | Y | - |
| (Yousefpoor & Barati, 2018) | - | - | Y | - |
| (Sethuraman et al., 2019) | - | - | Y | - |
| (Pattanayak & Ludwig, 2019) | - | Y | - | - |
| (Anikin & Alnajjar, 2018) | - | - | - | Y |
| (Bhowmik et al., 2020) | - | - | Y | - |
| (Bhowmik & Karforma, 2020a) | - | - | Y | - |
| (Chemlal, 2020a) | - | Y | - | - |
| (Singh & Garg, 2020a) | - | Y | - | - |
| (KISHOR & SNEHLATA, 2020) | - | Y | - | - |
| (Amrulloh & Ahmad, 2020a) | Y | - | - | - |

Kelompok bahasan 1 membahas tentang penggunaan Fuzzy dalam bidang steganografi, kelompok bahasan 2 membahas penggunaan fuzzy dalam peningkatan keamanan informasi, kelompok 3 membahas penggunaan fuzzy dalam penerbitan kunci dan password dan kelompok 4 membahas penggunaan fuzzy dalam penerbitan angkat random .

3.2. Peranan Fuzzy dalam Kriptografi

Kriptografi merupakan teknik pengamanan informasi yang memiliki proses unik dalam setiap tahapannya. Meskipun demikian informasi yang diamankan akan tetap memiliki kerentanan untuk di pecahkan dalam masa transmisi. Untuk itu fuzzy dihadirkan untuk menutup celah celah tersebut sehingga akan menjadi sulit bagi kriptanalis memecahkan kode informasi yang disandikan.

Dalam bidang kriptografi, fuzzy memiliki tiga peranan penting, pertama adalah untuk membantu meningkatkan keamanan informasi, kedua adalah untuk membantu penerbitan kunci dan ketiga adalah untuk membantu penentuan angka random dalam pseudo random number generator (PRNG).

Dalam penelusuran sistematika literatur, penggunaan fuzzy memberikan kontribusi dalam peningkatan keamanan informasi dalam bidang kriptografi. Dalam hal penanggulangan pelanggaran privasi dan identitas, penggunaan strategi fusi logika fuzzy yang diusulkan dapat memungkinkan prosedur identifikasi yang efisien dan akurat untuk aplikasi kritis dengan keamanan tinggi(Eid & Mohamed, 2017). Fuzzy juga digunakan dalam pengembangan teknik baru dalam Privacy Presevring Data Mining (PPDM) terkait masalah privasi data dalam proses penambangan, pada kasus ini fuzzy memberikan kontribusi dalam meningkatkan keamanan data dalam teknik kriptografi(Bansal et al., 2017). Pengamanan pesan melalui media trasmisi juga

memanfaatkan fuzzy sebagai tambahan pengamanan (Muthumeenakshi et al., 2017). Penggunaan fuzzy diusulkan untuk membantu akurasi dalam pengenalan biometrik dalam ranah pengamanan informasi, fuzzy mampu memberikan tingkat akurasi yang lebih baik (Singh & Garg, 2020b).

Dalam hal hibridisasi algoritma, fuzzy digunakan untuk mengoptimalkan pengamanan informasi dalam algoritma RSA (Abdullah et al., 2017). Fuzzy juga digunakan untuk melihat optimasi pengamanan informasi dalam algoritma AES dan lightweight AES (Sadkhan & Salman, 2018). Peningkatan keamanan informasi yang menggunakan fuzzy juga digabungkan dengan autoencoder jaringan saraf tiruan (Pattanayak & Ludwig, 2019). Penggunaan gerbang boolean XOR juga dipadukan (Chemlal, 2020b) serta penggunaan eliptic curve (Singh & Garg, 2020b) untuk meningkatkan keamanan informasi yang disandikan.

Kunci dan Password dalam kriptografi memiliki peranan penting dalam pengamanan informasi. Hal pemilihan kunci ini adalah sesuatu yang sulit dilakukan. Dalam hal ini, fuzzy memiliki peran untuk membantu dalam pemilihan kunci terbaik sehingga dapat meningkatkan keamanan informasi. Teorema euclid dan fuzzy dipadukan untuk melakukan penerbitan kunci yang akhirnya menunjukkan hasil evaluasi yang lebih baik (Sailaja et al., 2018). Dalam hal pengiriman kunci, fuzzy juga digunakan untuk mengamankan kunci yang ditransmisikan melalui perangkat jaringan wireless sensor (Yousefpoor & Barati, 2018). Fuzzy juga dipadukan dengan teknik Diffie Helman untuk mengamankan kunci yang di kirimkan kepada penerima (Sethuraman et al., 2019).

Algoritma kriptografi simetris akan menggunakan kunci yang sama untuk nengenkripsi dan mendekripsi informasi. Sebuah kerentanan akan terjadi jika penggunaan kunci yang sama digunakan untuk mengamankan informasi dalam beberapa sesi. Penggunaan fuzzy membantu meningkatkan kemudahan bagi pengguna melalui penerbitan kunci berbasis aliran cipher (Vetrivel, et al., 2018). Kualitas kunci juga dibantu dengan penggunaan fuzzy yang dipadukan dengan proses penggabungan kunci sesi dan kunci acak

(Bhowmik et al., 2020; Bhowmik & Karforma, 2020b).

Peningkatan performa teknik kriptografi juga didukung oleh penggunaan sebuah angka random yang dihasilkan dari pseudo random number generator (PRNG). Fuzzy digunakan untuk meningkatkan kekuatan angka random dengan mengubah member functionnya (Anikin & Alnajjar, 2018). Pendekatan fuzzy dalam PRNG juga dikembangkan dalam pemodelannya (Ngoc Nguyen et al., 2018). Untuk menghasilkan nilai acak yang lebih baik, PRNG diusulkan untuk mengadopsi integral fuzzy choquet (El-Khamy & Mohamed, 2018). Penambahan proses LFSR dalam PRNG juga menggunakan fuzzy sebagai pengatur jumlahnya, hal ini juga meningkatkan kualitas dari angka acak yang dihasilkan (Anikin & Alnajjar, 2017).

3.3. Peranan Fuzzy dalam Steganografi

Pengamanan informasi tidak hanya menggunakan teknik kriptografi saja, namun teknik steganografi juga turut mengamankan informasi dengan cara menyisipkan pada sebuah objek digital yang dikenal sebagai media penyisipan. Fuzzy memiliki beberapa peran dalam membantu pengamanan informasi menggunakan teknik steganografi.

Untuk meningkatkan jumlah pesan yang dapat disembunyikan, fuzzy digunakan untuk membantu mendeteksi tepian gambar dengan metode chaotic (Vanmathi & Prabu, 2018). Pengamanan citra medis juga memanfaatkan fuzzy untuk menyisipkan informasi kepemilikannya dengan memanfaatkan tepian gambar (Yuvaraja & Sabeenian, 2019). Pendekatan dengan fuzzy dalam pendeteksian tepian gambar diusulkan untuk digabungkan dengan teknik LSB untuk meningkatkan jumlah pesan yang dapat disisipkan (Yusuf & Hagra, 2018). Selain objek gambar, objek dalam bentuk file audio juga digunakan sebagai media penyimpanan. Penggunaan fuzzy dalam penyisipan pada file audio juga dimanfaatkan untuk mendeteksi ruang kosong dan membantu penyebaran yang lebih baik (Amrulloh & Ahmad, 2020b). Pendekatan menggunakan fuzzy mampu meningkatkan hingga 48% kualitas PSNR file audio yang telah terisi pesan.

KESIMPULAN

Pengamanan informasi merupakan hal yang unik dan sulit, meski banyak algoritma yang dibangun kelemahan dan celah akan selalu tetap ada. Penggunaan fuzzy dalam pengamanan informasi membantu meningkatkan performa dalam pengamanan informasi. Fuzzy memiliki peran lain dalam dunia kriptografi yakni berfungsi sebagai sebuah pendekatan yang mampu membantu dalam penerbitan kunci dan perbaikan kualitas angka random dalam PRNG. Selain itu, fuzzy juga berperan dalam pengamanan informasi menggunakan teknik steganografi. Dengan demikian penelusuran sistematis literatur ini memberikan kontribusi untuk merancang penggunaan fuzzy dalam teknik lain untuk pengamanan informasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., Bakar, S. A., Kamis, N. H., & Aliamis, H. (2017). *RSA cryptosystem with fuzzy set theory for encryption and decryption*. 030001. <https://doi.org/10.1063/1.5012147>
- Amrulloh, M. M., & Ahmad, T. (2020a). Utilizing fuzzy logic in developing reversible data hiding method. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(5), 327–336. <https://doi.org/10.22266/ijies2020.1031.30>
- Amrulloh, M. M., & Ahmad, T. (2020b). Utilizing fuzzy logic in developing reversible data hiding method. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(5), 327–336. <https://doi.org/10.22266/ijies2020.1031.30>
- Anikin, I. v., & Alnajjar, K. (2017). Correlation immune pseudo-random number generator based on fuzzy logic. *2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICIEAM.2017.8076445>
- Anikin, I. v., & Alnajjar, K. (2018). Increasing the quality of pseudo-random number generator based on fuzzy logic. *Journal of Physics: Conference Series*, 1096, 012193. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1096/1/012193>
- Bansal, M., Grover, D., Sharma, D., & Professor, A. (2017). SECURE MINING AND SHARING OF FINANCIAL DATA:FUZZY LOGIC AND CRYPTOGRAPHY. / *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 8(4).
- Bhowmik, A., & Karforma, S. (2020a). *A Key Generation technique using concept of Recurrence Relation and Fuzzy logic against Security Breach in Wireless Communication*.
- Bhowmik, A., & Karforma, S. (2020b). *A Key Generation technique using concept of Recurrence Relation and Fuzzy logic against Security Breach in Wireless Communication*.
- Bhowmik, A., Karforma, S., Dey, J., & Sarkar, A. (2020). *Fuzzy-Based Session Key as Restorative Power of Symmetric Key Encryption for Secured Wireless Communication* (pp. 171–183). https://doi.org/10.1007/978-981-15-0829-5_17
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571–583. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>
- Chemlal, R. (2020a). *A note on combining chaotic dynamical systems using the fuzzy logic XOR operator*.
- Chemlal, R. (2020b). *A note on combining chaotic dynamical systems using the fuzzy logic XOR operator*.
- Eid, M. M., & Mohamed, M. A. (2017). A secure multimodal authentication system based on chaos cryptography and fuzzy fusion of iris and face. *2017 Intl Conf on Advanced Control Circuits Systems (ACCS) Systems & 2017 Intl Conf on New Paradigms in Electronics & Information Technology (PEIT)*, 163–171.
- El-Khamy, S. E., & Mohamed, A. G. (2018). Image keyed PN sequence generator and authentication technique based on choquet fuzzy integral. *2018 35th National Radio Science Conference (NRSC)*, 293–299.

- <https://doi.org/10.1109/NRSC.2018.8354376>
- KISHOR, K. S., & SNEHLATA, B. (2020). FUZZY LOGIC IN TERMS OF BIOMETRICS. *I-Manager's Journal on Image Processing*, 7(4), 17. <https://doi.org/10.26634/jip.7.4.17775>
- Muthumeenakshi, M., Archana, T., & Muralikrishna, P. (2017). FUZZY APPLICATION IN SECURED DATA TRANSMISSION. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 116(3), 711–715. <https://doi.org/10.12732/ijpam.v116i3.17>
- Ngoc Nguyen, T. T., Kaddoum, G., & Gagnon, F. (2018). Implementation of a Chaotic True Random Number Generator Based on Fuzzy Modeling. *2018 16th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS)*, 238–242. <https://doi.org/10.1109/NEWCAS.2018.8585501>
- Pattanayak, S., & Ludwig, S. A. (2019). Improving Data Privacy Using Fuzzy Logic and Autoencoder Neural Network. *2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858823>
- Sadkhan, S. B., & Salman, A. O. (2018). Fuzzy Logic for Performance Analysis of AES and Lightweight AES. *2018 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)*, 318–323. <https://doi.org/10.1109/ICOASE.2018.8548832>
- Sailaja, R., Rupa, C., & Chakravarthy, A. S. N. (2018). A novel integrated approach using Euclid's and fuzzy logic for secure communication. *International Journal of Information Privacy, Security and Integrity*, 3(4), 253. <https://doi.org/10.1504/IJPSI.2018.096131>
- Sethuraman, P., Tamizharasan, P. S., & Arputharaj, K. (2019). Fuzzy Genetic Elliptic Curve Diffie Hellman Algorithm for Secured Communication in Networks. *Wireless Personal Communications*, 105(3), 993–1007. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06132-4>
- Singh, G., & Garg, S. (2020a). Fuzzy Elliptic Curve Cryptography based Cipher Text Policy Attribute based Encryption for Cloud Security. *2020 International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*, 327–330. <https://doi.org/10.1109/ICIEM48762.2020.9159961>
- Singh, G., & Garg, S. (2020b). Fuzzy Elliptic Curve Cryptography based Cipher Text Policy Attribute based Encryption for Cloud Security. *2020 International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*, 327–330. <https://doi.org/10.1109/ICIEM48762.2020.9159961>
- Tubthong, P., & Suttichaya, V. (2017). The Fuzzy Scheduling Algorithm for the Parallel Key Searching Problem on Cloud Environment. *2017 21st International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICSEC.2017.8443824>
- Vanmathi, C., & Prabu, S. (2018). Image Steganography Using Fuzzy Logic and Chaotic for Large Payload and High Imperceptibility. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20(2), 460–473. <https://doi.org/10.1007/s40815-017-0420-0>
- Yusuf, H. S., & Hagra, H. (2018). Towards Image Steganography Using Type-2 Fuzzy Logic and Edge Detection. *2018 10th Computer Science and Electronic Engineering (CEECE)*, 75–78. <https://doi.org/10.1109/CEECE.2018.8674225>
- Yuvaraja, T., & Sabeenian, R. S. (2019). Performance analysis of medical image security using steganography based on fuzzy logic. *Cluster Computing*, 22(S2), 3285–3291. <https://doi.org/10.1007/s10586-018-2096-0>