

Optimization of Multiplicative and Exponential Constants in COCOMO II Software Effort Estimation Using the Firefly Algorithm

Deva Fathuzzikri¹, Ardiansyah²

Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan

Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Tamanan, Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55191

[1devafz92@gmail.com](mailto:devafz92@gmail.com), [2ardiansyah@tif.uad.ac.id](mailto:ardiansyah@tif.uad.ac.id)

ABSTRACT

Effort estimation is a crucial step in managing software development to ensure that projects remain under the control of developers. COCOMO II is one of the widely used estimation methods to estimate effort in a detailed and well-documented manner. However, the estimation results of COCOMO II are still not optimal in terms of accuracy for the current era because the multiplicative and exponential parameter values used by COCOMO II do not always provide precise results.

This research uses the Firefly Algorithm to select appropriate multiplicative and exponential parameters, aiming to improve the accuracy of COCOMO II effort estimates. The performance of the COCOMO II estimation model with Firefly optimization is measured using evaluation metrics such as mean absolute error, mean balanced residual error, mean inverted balanced residual error, and the Wilcoxon non-parametric statistical test.

The results of the study show that the average MAE with the Firefly algorithm is 2.3703387, while without the Firefly algorithm it is 486.5746237, indicating that the Firefly algorithm is able to reduce 99.51% of the COCOMO II estimates. Based on the Wilcoxon non-parametric statistical test, the Asymp. Sig. value is $0.00 < 0.05$, indicating a significant difference between the COCOMO II estimation results using Firefly algorithm optimization and standard COCOMO II.

KEYWORDS: *effort estimation, COCOMO II, optimization, firefly algorithm, population, iteration*

1. Pendahuluan

SDLC atau System Development Life Cycle adalah tahapan kerja pengembangan perangkat lunak yang bertujuan untuk menghasilkan sistem berkualitas tinggi. Tahapan SDLC meliputi perencanaan, analisis sistem, desain, implementasi, dan pemeliharaan sistem. Salah satu aktivitas penting di tahap planning adalah melakukan estimasi effort / usaha pengembangan perangkat lunak. Estimasi effort penting dilakukan untuk menjaga proses pembangunan ataupun pengembangan agar tetap dalam kontrol pengembang bisa mengukur dan mengetahui seberapa lama proyek ini dikerjakan dan jumlah biaya atau orang yang dibutuhkan dalam pengembangan proyek tersebut [1]. Estimasi effort menjadi penting karena apabila yang diukur tidak akurat maka dapat mengakibatkan kegagalan dalam pengembangan perangkat lunak. Sebaliknya jika estimasi effort yang dilakukan akurat maka proyek bisa di selesaikan tepat waktu dan tepat anggaran [2].

Salah satu teknik estimasi yang paling umum digunakan adalah Constructive Cost Model (COCOMO). COCOMO adalah model estimasi effort dan penjadwalan yang menggunakan sifat regresi dalam pemodelannya. COCOMO II terdiri dari empat koefisien yang sangat mempengaruhi keakuratan estimasi. Metode COCOMO II memiliki dua faktor penting yang mempengaruhi akurasi estimasi effort perangkat lunak, yaitu nilai parameter A dan B. Parameter A adalah konstanta multiplicative yang merupakan suatu nilai tetap yang dapat diperbanyak. Di sisi lain, parameter B adalah nilai konstanta. Parameter A dan B digunakan untuk memperkirakan usaha dan biaya perangkat lunak. Parameter A memiliki nilai 2,94 dan parameter B memiliki nilai 0,91. Parameter A digunakan ketika menghitung person Month (PM). Sedangkan parameter B digunakan ketika menghitung effort [4]. COCOMO II standar tidak memberikan upaya yang realistis dalam lingkungan pengembangan saat ini. Kelemahan tersebut disebabkan karena penggunaan kedua nilai parameter A dan B selama ini tidak selalu memberikan hasil yang presisi/tepat. Oleh karena itu, dibutuhkan usaha lanjutan dalam menyesuaikan parameter konstanta multiplicative dan exponential yang tepat sehingga akan meningkatkan akurasi estimasi effort COCOMO II. Pendekatan yang sesuai untuk menyesuaikan parameter tersebut salah satunya menggunakan algoritma optimasi [5].

Optimasi adalah sebuah proses yang dilakukan untuk mendapatkan nilai efektif yang dapat dicapai [6]. Terdapat beberapa algoritma untuk melakukan optimasi seperti Algoritma Firefly, Simulated Annealing, dan Particle Swarm Optimization. Salah satu algoritma optimasi yang dikenal adalah algoritma firefly. Perilaku Algoritma kunang-kunang yang berkedip-kedip dan menyala ini terinspirasi dari tujuan utamanya, yaitu sebagai sinyal untuk menarik kunang-kunang lain. Kunang-kunang yang memiliki cahaya lebih terang akan menarik kunang-kunang yang cahayanya lebih redup untuk mendekat [14].

Algoritma firefly memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki kemampuan untuk mencapai solusi yang optimal. Kemampuan ini diperoleh dengan cara mempertahankan variasi solusi dalam populasi berupa penggabungan dua konsep utama yaitu pengaturan intensifikasi dan diversifikasi. Namun algoritma firefly memiliki kekurangan ketika dihadapkan pada penyelesaian optimasi dengan skala besar. Sehingga, dibutuhkan kombinasi metode agar hasil yang diharapkan akan lebih akurat [16].

Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan algoritma Firefly sebagai salah satu pendekatan untuk menyesuaikan parameter konstanta multiplicative dan exponential yang tepat sehingga akan meningkatkan akurasi estimasi effort COCOMO II.

2. Metode

Metode yang digunakan adalah studi dokumen untuk melakukan estimasi effort, dokumen yang digunakan adalah dataset publik. Dataset tersebut merupakan data dari NASA yang terdiri dari 93 proyek yang telah selesai. Metode ini akan dioptimalkan dengan menggunakan algoritma Firefly dengan indikator iterasi populasi. Pengembangan metode Algoritma *Firefly* pada Optimasi akan dilakukan juga pembuatan program dengan bahasa pemrograman yaitu *Python*. Dengan fokus Algoritma *Firefly* pada pemilihan bobot fitur estimasi usaha agar menghasilkan hasil estimasi yang paling optimal. Pembuatan program ini akan mengikuti sesuai algoritma *Firefly* yang telah dibahas. Untuk mengukur tingkat akurasi estimasi, digunakan beberapa metrik yaitu Mean Absolute Error (MAE), Mean Balanced Residual Error (MBRE), dan Mean Inverted Balanced Residual Error (MIBRE).

2.1 COCOMO II

Penelitian ini menggunakan model Post-Architecture (PA) dari COCOMO II untuk estimasi usaha dalam pengembangan perangkat lunak. Metode ini melibatkan beberapa langkah utama. Pertama, ukuran proyek diukur menggunakan Line of Code (LOC) atau ribuan baris kode (KLOC), yang diperoleh dari perhitungan Unadjusted Function Point (UFP). UFP ini ditentukan berdasarkan analisis fungsi dari Diagram Alir Data (DFD) dan mempertimbangkan lima komponen titik fungsi: External Input (EI), External Output (EO), External Inquiry (EQ), Internal Logical File (ILF), dan External Interface File (EIF). Nilai UFP dihitung berdasarkan jumlah Data Element Type (DET), Record Element Type (RET), dan File Type References (FTR). Selanjutnya, estimasi usaha dalam COCOMO II PA dinyatakan dalam Person-Month (PM) dan dihitung menggunakan persamaan:

$$PM = A \times (KLOC)^E \times \prod_{i=1}^{17} EM_i,$$

dengan nilai A sebesar 2,94. Eksponen E dalam persamaan ini dihitung menggunakan lima faktor skala (Scale Factors/SF), yaitu Precedentedness (PREC), Development Flexibility (FLEX), Architecture Risk and Resolution (RESL), Team Cohesion (TEAM), dan Process Maturity (PMAT). Eksponen E dihitung dengan persamaan:

$$E = B + 0.01 \times SF,$$

di mana nilai B adalah 0,91. Effort Multiplier (EM) ditentukan melalui kuesioner yang terdiri dari 17 parameter, yang dikelompokkan ke dalam empat kategori: Product, Platform, Personnel, dan Project. Setiap kategori memiliki beberapa parameter, misalnya kategori Product mencakup RELY, DATA, CPLX, RUSE, dan DOCU. Setiap parameter memiliki enam tingkatan nilai mulai dari very low hingga extra high, yang berkontribusi terhadap perhitungan usaha nominal. Tim proyek mengisi kuesioner untuk menentukan nilai faktor skala dan Effort Multiplier ini. Hasil dari kuesioner tersebut kemudian digunakan dalam persamaan untuk menghitung estimasi usaha yang akurat. Dengan metode ini, penelitian bertujuan memberikan estimasi biaya yang lebih akurat untuk pengembangan perangkat lunak berdasarkan model Post-Architecture dari COCOMO II.

2.2 Algoritma Firefly

Algoritma Firefly (FA) merupakan teknik optimasi yang terinspirasi dari perilaku kunang-kunang dalam menarik perhatian pasangan mereka melalui cahaya yang dipancarkan. Algoritma ini didasarkan pada tiga aturan dasar. Semua kunang-kunang adalah uniseks, sehingga satu kunang-kunang tertarik pada kunang-kunang lainnya tanpa memperhatikan jenis kelamin mereka. Daya tarik kunang-kunang proporsional terhadap kecerahannya, dengan kunang-kunang yang lebih redup bergerak menuju kunang-kunang yang lebih terang, dan daya tarik berkurang seiring meningkatnya jarak. Jika tidak ada kunang-kunang yang lebih terang, kunang-kunang akan bergerak secara acak. Kecerahan atau intensitas cahaya kunang-kunang dipengaruhi oleh lanskap fungsi objektif yang dioptimalkan, di mana dalam masalah maksimisasi, kecerahan berbanding lurus dengan nilai fungsi objektif. Dalam FA, intensitas cahaya berkurang dengan jarak dan absorpsi media (misalnya udara). Rumus dasar untuk intensitas cahaya adalah

$$I(r) = \frac{I_s}{r^2},$$

dan intensitas cahaya yang bervariasi dengan jarak secara eksponensial diberikan oleh

$$I = I_0 e^{-\gamma r},$$

di mana I_0 adalah intensitas cahaya asli dan γ adalah koefisien penyerapan cahaya. Daya tarik β kunang-kunang didefinisikan sebagai

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2},$$

dengan β_0 adalah daya tarik pada jarak $r = 0$. Jarak antara dua kunang-kunang i dan j dapat diukur dengan jarak Cartesius $r_{ij} = \|x_i - x_j\|_2$ atau norm ℓ_2 . Pergerakan kunang-kunang i menuju kunang-kunang j yang lebih terang ditentukan oleh:

$$x_i = x_i + \beta_{0-\gamma r^2_{ij}} (X_j - X_i) + \alpha \epsilon_i,$$

di mana ϵ_i adalah vektor variabel acak dari distribusi Gaussian, $\beta_0 = 1$, $\alpha \in [0, 1]$, dan $\gamma = 1$ dalam implementasi umum. Parameter γ mempengaruhi variasi daya tarik dan perilaku algoritma. Secara teoritis, $\gamma \in [0, \infty)$, dengan $\gamma \rightarrow 0$ menunjukkan daya tarik konstan dan $\gamma \rightarrow \infty$ menunjukkan daya tarik hampir nol. Nilai γ ini mengontrol konvergensi algoritma dan memungkinkan pencarian multiple optimum secara bersamaan. Proses algoritma Firefly dimulai dengan inialisasi populasi kunang-kunang secara acak, lalu iteratif memperbarui posisi kunang-kunang berdasarkan daya tarik dan kecerahan hingga konvergensi atau kriteria penghentian tercapai.

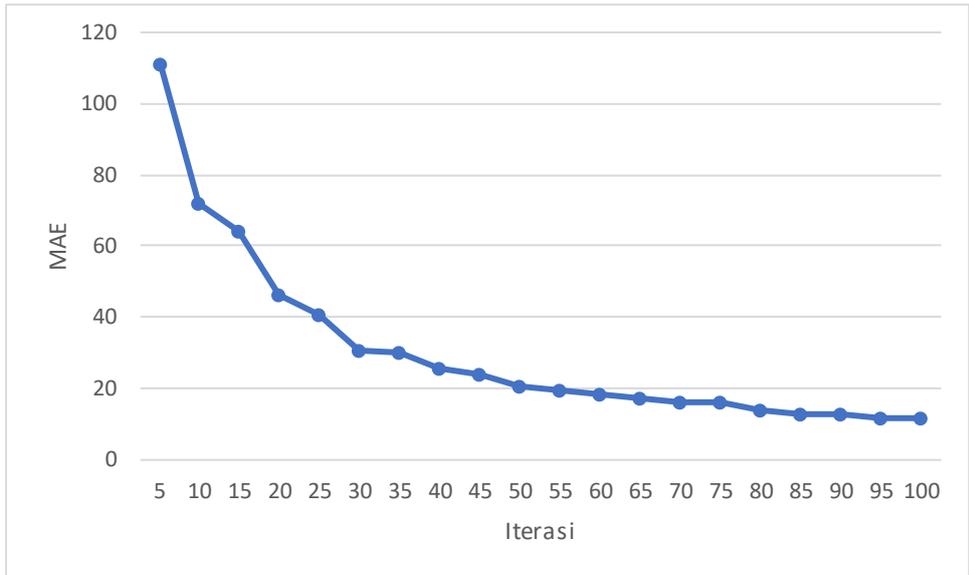
3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konstanta multiplicative dan exponential pada estimasi usaha perangkat lunak COCOMO II dengan menggunakan algoritma Firefly. Pendekatan ini berfokus pada penggunaan algoritma Firefly untuk meningkatkan akurasi estimasi usaha dalam pengembangan perangkat lunak, dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti kompleksitas arsitektur, kemampuan tim, kualitas data, dan waktu yang tersedia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penyesuaian parameter yang tepat, akurasi estimasi usaha dapat meningkat secara signifikan, sehingga lebih dapat diandalkan untuk perencanaan dan pengelolaan proyek perangkat lunak.

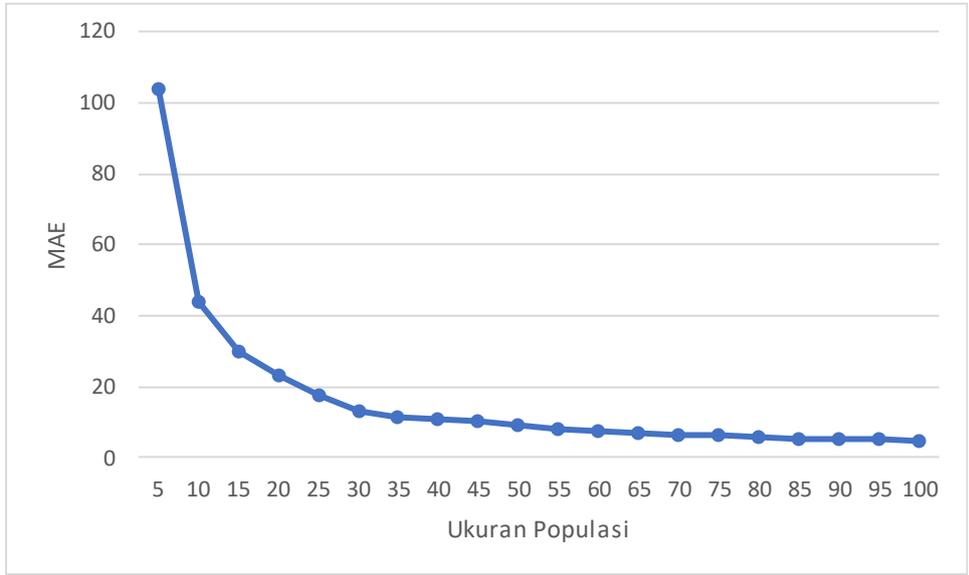
Hasil Pengujian dan Analisis Algoritma Firefly

Penelitian ini mengevaluasi performa Algoritma Firefly dalam mengoptimalkan estimasi usaha pengembangan perangkat lunak menggunakan model COCOMO II. Berikut adalah rangkuman hasil dan pembahasan dari penelitian ini:

Evaluasi performa algoritma dilakukan dengan menghitung nilai Mean Absolute Error (MAE) dari hasil estimasi. Proses evaluasi diulang sebanyak 30 kali dengan iterasi yang ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai 100 iterasi.



Gambar 3. 1 Nilai MAE dengan jumlah iterasi berbeda-beda



Gambar 3. 2 Nilai MAE dengan jumlah populasi berbeda-beda

Pemilihan 85 iterasi dan 85 individu dalam populasi didasarkan pada analisis mendalam yang menunjukkan bahwa kombinasi angka tersebut memberikan keseimbangan optimal antara efisiensi komputasi dan akurasi estimasi. Dengan pemilihan parameter ini, model dapat menghasilkan estimasi yang akurat tanpa membebani sumber daya komputasi secara berlebihan.

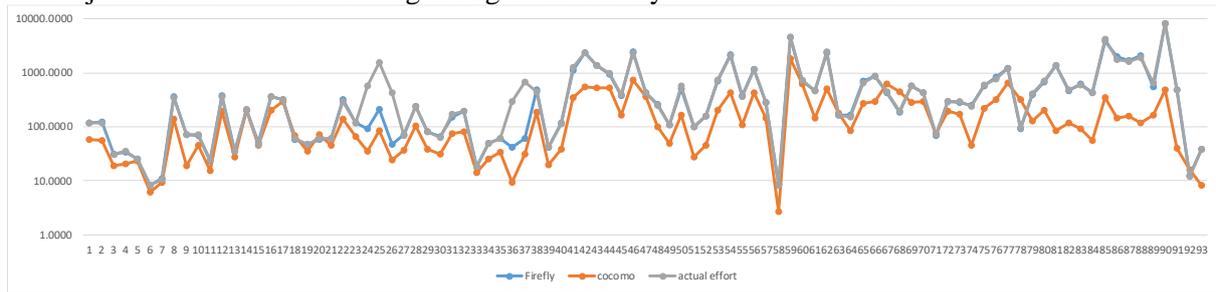
Optimasi Estimasi Effort Algoritma Firefly

Dalam mengoptimalkan estimasi usaha perangkat lunak menggunakan algoritma Firefly, dilakukan evaluasi berdasarkan Mean Absolute Error (MAE).

Tabel 3. 1 Hasil Perbandingan MAE

Model	MAE
COCOMO II	486.5746237
COCOMO II Algoritma Firefly	2.3703387
Penurunan MAE	99.51%

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai MAE menurun secara signifikan setelah penerapan Algoritma Firefly dibandingkan dengan model COCOMO II standar. Grafik visualisasi perbandingan menunjukkan bahwa estimasi dengan Algoritma Firefly lebih mendekati nilai actual effort.



Gambar 3. 3 Perbandingan COCOMO, Algoritma Firefly, Aktual Effort

Uji Statistik Non Parametrik Wilcoxon

Untuk menguji signifikansi perbedaan antara hasil estimasi COCOMO II dan estimasi yang dioptimalkan dengan Algoritma Firefly, digunakan uji statistik Wilcoxon. Hasil uji menunjukkan nilai Z sebesar -8.336 dengan nilai signifikansi (Asymp. Sig.) sebesar 0.000, yang berarti perbedaan tersebut sangat signifikan secara statistik (kurang dari alpha 0.05). Hal ini menunjukkan bahwa penerapan Algoritma Firefly memberikan perbedaan signifikan pada hasil estimasi dibandingkan dengan model COCOMO II.

Tabel 3. 2 7 Uji Statistika Wilcoxon

	Optimasi - Estimasi
Z	-8.336
Asymp. Sig. (2-tailed)	.000

Evaluasi Mean Balanced Residual Error (MBRE) dan Mean Inverted Residual Error (MIBRE)

Hasil evaluasi MBRE dan MIBRE menunjukkan peningkatan performa signifikan dengan penerapan Algoritma Firefly. Rata-rata MBRE tanpa Algoritma Firefly adalah 3.308377635, sedangkan dengan Algoritma Firefly menurun menjadi 0.003410799. Begitu juga dengan MIBRE, yang menurun dari 0.553863303 menjadi 0.003062968 setelah penerapan Algoritma Firefly.

4. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan estimasi usaha yang dihasilkan oleh metode COCOMO II. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode COCOMO II belum mencapai hasil yang optimal karena nilai-nilai konstanta multiplicative dan exponential yang digunakan sering kali tidak memberikan hasil yang akurat. Algoritma Firefly diterapkan sebagai pendekatan untuk mengoptimalkan nilai-nilai konstanta tersebut. Berdasarkan hasil analisis evaluasi performa COCOMO dan Firefly dipilih 85 iterasi dan 85 individu dalam populasi karena kombinasi angka tersebut memberikan keseimbangan optimal antara efisiensi komputasi dan akurasi estimasi. Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan menetapkan parameter multiplicative dan exponential yang lebih tepat untuk model COCOMO II melalui optimasi menggunakan algoritma Firefly. Hasil optimasi menunjukkan peningkatan akurasi estimasi usaha, yang ditandai dengan perbedaan yang lebih kecil antara estimasi dan realisasi usaha proyek perangkat lunak. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam meningkatkan keandalan model estimasi usaha COCOMO II melalui penyesuaian parameter yang lebih sesuai dengan karakteristik proyek perangkat lunak modern.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata Mean Absolute Error (MAE) dengan menggunakan algoritma Firefly adalah 2.3703387, sementara tanpa menggunakan algoritma Firefly mencapai 486.5746237. Dengan demikian, algoritma Firefly berhasil menurunkan error sebesar 99.51% dari estimasi COCOMO II. Hasil uji statistik non-parametrik Wilcoxon menunjukkan nilai Asymptotic

Significance (Asymp. Sig.) sebesar 0.00, yang berarti ada perbedaan yang signifikan antara hasil estimasi COCOMO II yang dioptimalkan menggunakan algoritma Firefly dan COCOMO II standar. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan algoritma Firefly secara efektif dapat meningkatkan akurasi estimasi usaha perangkat lunak dibandingkan dengan metode COCOMO II tanpa optimasi.

Referensi

- [1] Hamzah, R. Saptono, and R. Anggrainingsih, "Development of Software Size Estimation Application using Function Point Analysis (FPA) Approach with Rapid Application Development (RAD)," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Informasi*, vol. 5, Dec. 2016.
- [2] A. Ramadhan, A. Sihabuddin, and A. SN, "Estimasi Biaya Proyek Perangkat Lunak Menggunakan JST dan Algoritma Genetika," *Berkala MIPA*, vol. 25, 2017, Accessed: Oct. 11, 2021. [Online]. Available: <https://jurnal.ugm.ac.id/bimipa/article/view/35005>.
- [3] H. Suhartoyo and T. A. Wijaya, "Rancangan Estimasi Biaya dengan Teknik COCOMO II dan Neuro Fuzzy Studi Kasus: Sistem Informasi Rumah Sakit," *Jurnal INFORM*, vol. 1, pp. 1–70, 2016, Accessed: Oct. 11, 2021. [Online]. Available: <https://ejournal.unitomo.ac.id/index.php/inform/article/view/215>
- [4] R. R. Putri, "Peningkatan Akurasi Perkiraan Biaya dan Waktu Proyek Perangkat Lunak Berdasarkan Model Fuzzy Gaussian dan Perubahan Nilai Parameter," *Jurnal IPTEK*, vol. 22, pp. 67–76, Dec. 2018, Accessed: Oct. 12, 2021. [Online]. Available: <https://ejournal.itats.ac.id/ipitek/article/view/447>
- [5] R. K. Sachan et al., "Optimizing Basic COCOMO Model using Simplified Genetic Algorithm," *Procedia Computer Science*, vol. 89, pp. 492–498, Jul. 2016, Accessed: Nov. 15, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.06.107>
- [6] I. D. al Salam, "Optimasi Estimasi Effort Perangkat Lunak Berbasis Use Case Point Menggunakan Algoritma Genetika," Yogyakarta, Jul. 2021.
- [7] K. Langsari, R. Sarno, and Sholiq, "Optimizing Effort Parameter of COCOMO II Using Particle Swarm Optimization Method," *3rd International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*, vol. 16, pp. 2208–2216, Oct. 2018, Accessed: Nov. 25, 2021. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.12928/telkomnika.v16i5.9703>
- [8] Y. Amelia Effendi, R. Sarno, and J. Prasetyo, "Implementation of Bat Algorithm for COCOMO II Optimization," *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication*, vol. 10, pp. 441–446, Sep. 2018, Accessed: Nov. 27, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ISEMANTIC.2018.8549699>
- [9] M. Alajlan and N. Tagoug, "Optimization of COCOMO-II Model for Effort and Development Time Estimation using Genetic Algorithms," Jun. 2016, Accessed: Nov. 28, 2021. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/301699633_Optimization_of_COCOMOII_Model_for_Effort_and_Development_Time_Estimation_using_Genetic_Algorithms.
- [10] Suyanto, *Algoritma Optimasi Deterministik atau Probabilistik*, Edisi Pertama. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [11] K. M. Nilasari, A. D. Herlambang, and M. C. Saputra, "Evaluasi Biaya Pengembangan Perangkat Lunak Dengan Menggunakan Metode Cocomo II (Studi Kasus: PT DOT Indonesia)," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, pp. 3220–3229, Feb. 2018, Accessed: Dec. 25, 2021. [Online]. Available: <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/jptiik/article/view/2592>
- [12] A. Primaraka, E. Handoyo, and R. R. Isnanto, "Estimasi biaya pembuatan perangkat lunak menggunakan metode cocomo ii pada sistem informasi pelaporan kegiatan pembangunan," Jan. 2011.
- [13] N. Nilamsari, "Memahami Studi Dokumen Dalam Penelitian Kualitatif," *Wacana*, vol. XIII, Jun. 2014.
- [14] Yang, Xin-She. Firefly algorithm, stochastic test functions and design optimisation. *International journal of bio-inspired computation*, 2010, 2.2: 78-84.
- [15] Gandomi, Amir H., et al. Firefly algorithm with chaos. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2013, 18.1: 89-98.
- [16] Nayak, Janmenjoy, et al. Firefly algorithm in biomedical and health care: advances, issues and challenges. *SN Computer Science*, 2020, 1.6: 311.
- [17] Puspaningrum, Alifia; Muhammad, Fachrul Pralienka Bani; Mulyani, Esti. Optimasi Koefisien COCOMO II Menggunakan Algoritma Kelelawar untuk Meningkatkan Akurasi Estimasi Biaya dan Waktu Pengembangan Perangkat Lunak. *IKRA-ITH Informatika: Jurnal Komputer dan Informatika*, 2021, 5.3: 103-108.

- [18] Sugioko, Andre. Perbandingan Algoritma Bee Colony dengan Algoritma Bee Colony Tabu List dalam Penjadwalan Flow Shop. *Jurnal Metris*, 2013, 14.02: 113-120
- [19] Boehm, Barry W. *Software engineering economics*. Springer Berlin Heidelberg, 2002.
- [20] Najm, Assia, Abdelali Zakrani, and Abdelaziz Marzak. "An enhanced support vector regression model for agile projects cost estimation." *Int J Artif Intell* 11.1 2022: 265-275.
- [21] Rudianto, Dedy, et al. "Pengaruh Hubungan E-learning Dalam Mata Kuliah MAFIKI di Institut Teknologi Sumatera Menggunakan Metode Wilcoxon." *Indonesian Journal of Applied Mathematics* 1.1 2020, 1-5.