

**ANALISIS WAKTU OPTIMASI VALIDASI SILANG PENCARIAN ACAK
BERTAHAP PADA MODEL PEMBELAJARAN MESIN**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom.)
Pada Program Studi Sistem Informasi



OLEH :

ALIEF CAHYO UTOMO

NPM: 2113030101

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER (FTIK)
UNIVERSITAS NUSANTARA PERSATUAN GURU REPUBLIK INDONESIA
UN PGRI KEDIRI

2025

Skripsi oleh :

ALIEF CAHYO UTOMO

NPM : 2113030101

Judul

**ANALISIS WAKTU OPTIMASI VALIDASI SILANG Pencarian Acak
BERTAHAP PADA MODEL Pembelajaran Mesin**

Telah disetujui untuk diajukan Kepada
Panitia Ujian/Sidang Skripsi Program Studi Sistem Informasi
FTIK UN PGRI Kediri

Tanggal: 21 Desember 2025

Pembimbing I



Dr. Sucipto, S.Kom, M.Kom.
NIDN. 0721029101

Pembimbing II



Muhamad Najibulloh Muzaki, S.Kom,
M.cs.
NIDN. 0706098902

Skripsi oleh :

ALIEF CAHYO UTOMO

NPM : 2113030101

Judul

**ANALISIS WAKTU OPTIMASI VALIDASI SILANG Pencarian Acak
BERTAHAP PADA MODEL PEMBELAJARAN MESIN**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian/Sidang Skripsi

Program Studi Sistem Informasi FTIK UN PGRI Kediri

Tanggal: 29 Desember 2025

Dan Dinyatakan telah Memenuhi Persyaratan

Panitia Penguji :

1. Ketua : Dr. Sucipto, S.Kom, M.kom [.....]
2. Penguji 1 : Aidina Ristyawan, S.Kom, M.Kom [.....]
3. Penguji 2 : Muhammad Najibulloh Muzaki, S.kom, M.cs [.....]



Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Dr. Sulistiono, M.Si

NIDN. 007076801

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini saya,

Nama : Alief Cahyo Utomo
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/tgl. lahir : Kediri / 26 Maret 2003
NPM : 2113030101
Fak/Prodi. : FTIK/ S1-Sistem Informasi

menyatakan dengan sebenarnya, bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya tulis atau pendapat yang pernah diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara sengaja dan tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Kediri, 21 Desember 2025

Yang Menyatakan

A handwritten signature in black ink is written over a yellow rectangular postage stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '20.000', 'METERAI TEMPEL', and 'BBN 6DANX237128175'.

ALIEF CAHYO UTOMO

NPM: 2113030101

MOTTO

"MIMPI TIDAK ADA YANG GAGAL, YANG ADA HANYA MIMPI YANG
TERTUNDA." -WINDAH BASUDARA

ABSTRAK

Alief Cahyo Utomo : Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode *Halving Random Search Cross Validation* sebagai alternatif optimasi *hyperparameter* pada model *machine learning* dibandingkan dengan *Grid Search Cross Validation* dan *Random Search Cross Validation*. Dataset yang digunakan adalah *Internet Service Churn* dengan empat algoritma: *KNN*, *Decision Tree*, *SVM*, dan *Gaussian Naive Bayes*. Proses pengujian melibatkan *10-fold cross validation* dan pengulangan tiga kali untuk memastikan validitas hasil.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *Halving Random Search Cross Validation* mampu mencapai performa akurasi, presisi, dan recall yang kompetitif (selisih $< 0,5\%$) dibandingkan *Grid Search* pada sebagian besar model, dengan penghematan waktu komputasi hingga 62–74% pada *KNN*, *Decision Tree*, dan *SVM*. Namun, pada *Gaussian Naive Bayes* dengan ruang *hyperparameter* kecil, metode ini lebih lambat karena *overhead successive halving*. *Random Search* menunjukkan kecepatan tinggi tetapi kurang stabil pada *SVM* dan *Gaussian Naive Bayes*.

Kesimpulan penelitian menyatakan bahwa *Halving Random Search Cross Validation* adalah metode paling seimbang untuk kasus bisnis seperti prediksi churn, dengan rekomendasi penerapan pada model kompleks dan pengembangan lanjutan menggunakan *Hyperband* atau *Bayesian Optimization*.

Kata Kunci : Halving Random Search Cross-Validation, Hyperparameter Optimization, Machine Learning

KATA PENGANTAR

Puji Syukur Kami panjatkan kehadiran Allah Tuhan Yang Maha Kuasa, karena hanya atas perkenan- Nya tugas penyusunan proposal ini dapat diselesaikan. Penyusunan proposal ini merupakan bagian dari rencana penelitian guna penyusunan skripsi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Program Studi Teknik Informatika.

Pada kesempatan ini diucapkan terimakasih dan penghargaan yang setulus- tulusnya kepada:

1. Dr. Zainal Afandi, M.Pd. selaku Rektor Universitas Nusantara PGRI Kediri yang selalu memberikan dorongan motivasi kepada mahasiswa.
2. Dr. Sulistiono, M.Si. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Nusantara PGRI Kediri.
3. Sucipto M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Nusantara PGRI Kediri.
4. Kedua orang tua penulis yang sudah selalu memberikan support serta doa demi lancarnya pembuatan proposal ini.
5. Teman-teman penulis yang selalu membantu serta memberi support kepada penulis.
6. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu menyelesaikan proposal skripsi.

Disadari bahwa proposal ini masih banyak kekurangan, maka diharapkan tegur sapa, kritik, dan saran-saran, dari berbagai pihak sangat diharapkan.

Kediri, 21 Desember 2025

ALIEF CAHYO UTOMO
NPM : 2113030101

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	i
PERNYATAAN.....	iii
MOTTO.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	11
A. Latar Belakang.....	11
B. Identifikasi Masalah.....	12
C. Rumusan Masalah.....	13
D. Batasan Masalah.....	13
E. Tujuan Penelitian.....	14
F. Manfaat dan Kegunaan Penelitian.....	14
BAB II KAJIAN TEORI DAN HIPOTESIS.....	16
A. Landasan Teori.....	16
1. <i>Artificial Intelegant</i>	16
2. <i>Machine Learning</i>	16
3. <i>Hyperparameter</i>	17
4. <i>K-Fold Cross Validation</i>	17
5. <i>Hyperparameter Tuning</i>	18
6. <i>Grid Search Cross Validation</i>	19
7. <i>Random Search Cross Validation</i>	20
8. <i>Successive Halving</i>	21
9. <i>Halving Random Search Cross Validation</i>	22
10. <i>K-Nearest Neighbor</i>	23
11. <i>Decision Tree</i>	23
12. <i>Support Vector Machine</i>	24
13. <i>Confusion Matrix</i>	24
14. Akurasi.....	24
15. Presisi.....	25
16. <i>Recall</i>	26
B. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu.....	25
C. Kerangka Berpikir.....	27
D. Hipotesis.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39

A. Dataset.....	39
1. Deskripsi Dataset.....	39
2. Statistik Deskriptif.....	41
3. Distribusi Data.....	41
4. Korelasi Antar Fitur.....	42
5. Analisis <i>Outliner</i>	42
B. Pra-pemrosesan Data.....	43
1. Pemilihan Fitur.....	43
2. Penanganan Nilai Kosong.....	43
3. Normalisasi Data.....	44
4. Pembagian Data.....	45
C. Proses Pelatihan.....	45
1. Hardware.....	45
2. Kode pelatihan.....	46
3. Hasil Pelatihan.....	48
D. Pembahasan.....	50
1. Perbandingan Akurasi, Presisi, <i>Recall</i>	50
2. Perbandingan Waktu.....	51
3. <i>Confusion Matrix</i>	52
4. Analisis Hasil dan Evaluasi terhadap Tujuan Penelitian.....	52
BAB V PENUTUP.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.1 <i>Cross Validation 5 Fold</i>	18
Gambar 2.1.2 Ilustrasi <i>Grid Search</i>	19
Gambar 2.1.3 Ilustrasi <i>Random Search</i>	21
Gambar 2.1.4 Ilustrasi <i>Successive halving</i>	22
Gambar 2.3 kerangka berpikir.....	27
Gambar 3.1 Proses <i>Grid Search Cross Validation</i>	32
Gambar 3.2 Proses <i>Random Search Cross Validation</i>	33
Gambar 3.3 Proses <i>Halving Random Search Cross Validation</i>	37
Gambar 4.1 <i>Heatmap</i> Korelasi Antar Fitur Numerik.....	42
Gambar 4.2 <i>Boxplot Outlier</i> pada Seluruh Fitur Numerik.....	43
Gambar 4.3 Kode <i>Grid Search CV</i>	46
Gambar 4.4 Kode <i>Random Search CV</i>	47
Gambar 4.5 Kode <i>Halving Random Search CV</i>	48
Gambar 4.6 Perbandingan Akurasi, Presisi, <i>Recall</i>	50
Gambar 4.7 Perbandingan Waktu.....	51
Gambar 4.8 <i>Confusion Matrix</i> model hasil <i>Halving Random</i>	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>List Hyperparameter 1</i>	31
Tabel 3.2 <i>List Hyperparameter 2</i>	34
Tabel 3.3 Tabel <i>Succesive Halving</i>	36
Tabel 4.1 Deskripsi Atribut Dataset.....	40
Tabel 4.2 Statistik Deskriptif Dataset.....	41
Tabel 4.3 Distribusi Pelanggan Berdasarkan Status <i>Churn</i>	43
Tabel 4.4 Jumlah Nilai Kosong pada Setiap Fitur.....	44
Tabel 4.5 Sample Dataset Setelah Pra-Pemrosesan Data.....	44
Tabel 4.6 Pembagian Dataset.....	45
Tabel 4.7 Spesifikasi <i>Hardware</i>	45
Tabel 4.8 Hasil Pelatihan.....	48

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di era digital saat ini, machine learning telah menjadi teknologi utama dalam berbagai bidang, seperti kesehatan, bisnis, manufaktur, dan keuangan, untuk menghasilkan prediksi dan wawasan yang bernilai dari data yang kompleks. Penerapan *machine learning* dan data mining telah banyak digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan, seperti penentuan pemberian kredit menggunakan algoritma *Naive Bayes* serta analisis data transaksi dan klasifikasi teks pada berbagai domain permasalahan (Nurjanah et al., 2023; Nila, Firliana, & Sucipto, 2023; Gusti Tammam, Indriati, & Sucipto, 2018). Pengembangan model *machine learning* yang akurat dan andal menjadi semakin penting seiring meningkatnya volume dan kompleksitas data.

Kemampuan suatu model machine learning sangat bergantung pada pemilihan algoritma yang tepat serta penyesuaian *hyperparameter* secara optimal. Hyperparameter merupakan parameter yang ditentukan sebelum proses pelatihan model dan memiliki pengaruh signifikan terhadap performa model, baik dari sisi akurasi maupun kebutuhan komputasi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pemilihan dan pengaturan parameter yang tidak optimal dapat menurunkan kualitas hasil klasifikasi, sebagaimana terlihat pada penerapan model klasifikasi teks dan deteksi perilaku di media sosial (Anggraini, Sucipto, & Indriati, 2018).

Namun, pemilihan *hyperparameter* yang optimal bukanlah tugas yang mudah, terutama ketika bekerja dengan dataset berukuran besar dan memiliki banyak variabel. Metode pencarian *hyperparameter* tradisional seperti *Grid Search Cross Validation* melakukan evaluasi terhadap seluruh kombinasi parameter yang mungkin, sehingga membutuhkan waktu dan sumber daya komputasi yang sangat besar (Muhamad & Matin, 2023). Sebagai alternatif, *Random Search Cross Validation* diperkenalkan untuk meningkatkan efisiensi dengan mengeksplorasi kombinasi hyperparameter secara acak, yang dalam banyak kasus terbukti lebih efisien dibandingkan *grid search* (Bergstra, Bengio, & Bengio, 2012). Meskipun demikian, *Random Search Cross Validation* tidak selalu menghasilkan kombinasi hyperparameter yang optimal karena proses pencarian

dilakukan tanpa mempertimbangkan alokasi sumber daya secara adaptif (Putri, Widiari, & Santoso, 2023).

Sebagai solusi atas keterbatasan tersebut, dikembangkan metode *Halving Random Search Cross Validation* yang mengkombinasikan strategi pencarian acak dengan pendekatan *successive halving*. Pendekatan *successive halving* bekerja dengan cara mengevaluasi sejumlah besar kandidat *hyperparameter* menggunakan sumber daya minimum pada tahap awal, kemudian secara bertahap mengeliminasi kandidat dengan performa rendah dan melanjutkan kandidat terbaik ke tahap berikutnya (Soper, 2023). Dengan mekanisme ini, sumber daya komputasi dapat difokuskan pada kombinasi *hyperparameter* yang paling menjanjikan, sehingga waktu optimasi dapat dikurangi secara signifikan tanpa mengorbankan performa model (Li et al., 2018).

Untuk menguji efektivitas metode tersebut, diperlukan dataset yang relevan dan representatif. Dalam penelitian ini, digunakan dataset *Internet Service Churn* yang tersedia secara publik melalui platform Kaggle. Dataset ini dipilih karena bersifat publik dengan lisensi CC0 (Public Domain), berukuran cukup besar, dan memiliki fitur-fitur bisnis yang representatif untuk prediksi *churn* di industri telekomunikasi/*internet service provider*, seperti *subscription age*, *bill average*, *remaining contract*, serta *download/upload speed*. Dataset ini telah digunakan dalam beberapa penelitian *machine learning* untuk evaluasi model *churn prediction*, termasuk perbandingan model ML dan DL di sektor *insurance*, *internet service*, serta telekomunikasi (AbdelAziz et al., 2025), serta *framework uplift modelling* dan *prescriptive analysis* untuk *customer retention* (Baskan, 2023). Pemilihan ini juga didukung oleh karakteristik data yang relatif seimbang pada target *churn*, sehingga cocok untuk menguji efisiensi optimasi *hyperparameter* pada dataset skala besar tanpa bias *imbalance* yang ekstrem.

B. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah yang terdapat dalam latar belakang tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tingginya beban komputasi dan waktu yang diperlukan pada metode optimasi seperti *Grid Search Cross Validation*.
2. Kebutuhan akan metode yang lebih efisien dan efektif.

3. Belum adanya alokasi sumber daya komputasi yang adaptif pada metode pencarian *hyperparameter* tradisional, sehingga banyak waktu komputasi terbuang untuk mengevaluasi kombinasi hyperparameter yang kurang menjanjikan

4. Kurangnya kajian yang secara khusus menganalisis efisiensi waktu komputasi *Halving Random Search Cross Validation* dibandingkan *Grid Search Cross Validation* dan *Random Search Cross Validation*.
5. Belum diketahui sejauh mana metode *Halving Random Search Cross Validation* mampu mempertahankan performa model (akurasi, presisi, dan recall) ketika digunakan sebagai alternatif optimasi *hyperparameter* pada dataset yang cukup besar.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang diuraikan latar belakang masalah, rumusan masalah dapat diambil adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana perbandingan waktu yang diperlukan oleh *Halving Random Search Cross Validation* untuk menemukan *hyperparameter* optimal dibandingkan metode *Grid Search Cross Validation* dan *Random Search Cross Validation*?
2. Bagaimana efektivitas *Halving Random Search Cross Validation* dalam mengoptimalkan *hyperparameter* model machine learning dibandingkan dengan metode pencarian *hyperparameter* *Random Search Cross Validation* dan *Grid Search Cross Validation*?

D. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, terdapat beberapa batasan masalah agar penelitian lebih terfokus pada tujuan dan manfaat yang diharapkan, yaitu :

1. Penelitian ini hanya membandingkan metode *Halving Random Search Cross Validation* dengan *Grid Search Cross Validation* dan *Random Search Cross Validation* sebagai metode optimasi *hyperparameter*.
2. Penilaian kinerja model dibatasi pada metrik akurasi, presisi, recall, serta waktu komputasi yang dibutuhkan selama proses optimasi.
3. Dataset yang digunakan dalam penelitian ini hanya Dataset *Internet Service Churn* yang diperoleh dari platform Kaggle.

4. Penelitian ini hanya menggunakan algoritma KNN, *Decision Tree*, *Support Vector Machine*, dan *Gaussian Naive Bayes* sebagai model pembelajaran mesin.
5. Pengujian dilakukan menggunakan skema *10-Fold Cross Validation* dengan pembagian data latih dan data uji yang telah ditentukan.

E. Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini:

1. Mengetahui sejauh mana efisiensi waktu komputasi yang dapat dicapai dengan menggunakan metode *Halving Random Search Cross Validation*, jika dibandingkan dengan metode *Grid Search Cross Validation* dan *Random Search Cross Validation*, dalam proses optimasi *hyperparameter* pada model *machine learning*.
2. Menganalisa efektivitas metode *Halving Random Search Cross Validation* dalam mengoptimalkan *hyperparameter* model *machine learning* dibandingkan dengan metode optimasi *Grid Search Cross Validation* dan *Random Search Cross Validation*.

F. Manfaat dan Kegunaan Penelitian

Manfaat dan tujuan dari melakukan penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis
Sebagai sarana untuk memperdalam pemahaman penulis mengenai metode optimasi *hyperparameter*, khususnya *Halving Random Search Cross Validation*, serta bagaimana penerapannya dapat meningkatkan kinerja model *machine learning*.
2. Bagi Industri
Mendukung pengembangan model prediktif yang lebih akurat dan andal, yang pada akhirnya dapat membantu perusahaan dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat dan berdampak pada peningkatan pelayanan serta kepuasan pelanggan.
3. Bagi Lingkungan Akademik
Menyumbang informasi tambahan dalam penelitian mengenai cara mengoptimalkan parameter, khususnya metode *Halving Random Search*

Cross Validation, yang hingga kini belum banyak dibahas secara mendalam serta dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, dosen, dan peneliti lain yang ingin mempelajari atau melakukan penelitian lebih lanjut tentang optimasi *hyperparameter* dan penerapannya dalam model *machine learning*.

DAFTAR PUSTAKA

- Nurjanah, I., Karaman, J., Widaningrum, I., Mustikasari, D., & Sucipto. (2023). Penggunaan algoritma Naive Bayes untuk menentukan pemberian kredit pada koperasi desa. *Journal of Computer Science and Information Technology*, 3(2). <https://doi.org/10.47065/explorer.v3i2.766>
- Sucipto, Prasetya, D. D., & Widiyaningtyas, T. (2025). A supervised hybrid weighting scheme for Bloom's taxonomy questions using category space density-based weighting. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 15(2), 22102–22108. <https://doi.org/10.48084/etasr.10226>
- Nila, U., Firliana, R., & Sucipto. (2023). Analisis data transaksi penjualan produk pertanian menggunakan algoritma FP-Growth. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi (SEMNAS INOTEK)*, 7. <https://doi.org/10.29407/inotek.v7i1.3426>
- Gusti Tammam, A., Indriati, R., & Sucipto. (2018). Hoax detection at social media with text mining clarification system-based. *Jurnal Ilmiah Pengembangan Informatika*, 3(2). <https://doi.org/10.29100/jipi.v3i2.837>
- Anggraini, I. Y., Sucipto, S., & Indriati, R. (2018). Cyberbullying detection modelling at Twitter social networking. *JUITA: Jurnal Informatika*, 6(2), 113–118. <https://doi.org/10.30595/juita.v6i2.3350>
- Aprilliandhika, W., & Abdulloh, F. F. (2024). Comparison of K-nearest neighbor and support vector machine algorithm optimization with grid search CV on stroke prediction. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 5(4), 991–1000. <https://doi.org/10.52436/1.jutif.2024.5.4.1951>
- Dirjen, S. K., Irmanda, H. N., & Astriratma, R. (2017). Klasifikasi jenis pantun dengan metode support vector machines (SVM). *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 1(3), 915–922. <https://doi.org/10.29207/resti.v4i5.2313>
- Irawan, I., Qisthiano, R., Syahril, M., & Jakak, P. M. (2023). Optimasi prediksi kelulusan tepat waktu: Studi perbandingan algoritma random forest dan K-NN

berbasis PSO. *Jurnal Pengembangan Sistem Informasi dan Informatika*, 4(4).
<https://doi.org/10.47747/jpsii.v4i4.1374>

Jamiluddin, F., Faisal, S., Lestari, S. A. P., & Fauzi, A. (2024). Implementasi hyperparameter tuning grid search CV pada prediksi produksi padi menggunakan algoritma linear regresi. *Journal of Information System Research*, 6(1), 490–498.
<https://doi.org/10.47065/josh.v6i1.5930>

Misnawati. (2023). ChatGPT: Keuntungan, risiko, dan penggunaan bijak dalam era kecerdasan buatan. *Prosiding Mateandrau*, 2(1).
<https://doi.org/10.55606/mateandrau.v2i1.221>

Muhamad, I., & Matin, M. (2023). Hyperparameter tuning menggunakan GridSearchCV pada random forest untuk deteksi malware. *Multinetics*, 9(1).
<https://doi.org/10.32722/multinetics.v9i1.5578>

Munawaroh, S., Rosyidah, U. A., & Yanuarti, R. (2024). Klasifikasi tingkat kecemasan atlet sebelum bertanding menggunakan algoritma K-nearest neighbor (KNN) berbasis website. *BIOS: Jurnal Teknologi Informasi dan Rekayasa Komputer*, 5(2), 87–94. <https://doi.org/10.37148/bios.v5i2.120>

Nugraha, W., & Sasongko, A. (2022). Hyperparameter tuning pada algoritma klasifikasi dengan grid search. *SISTEMASI: Jurnal Sistem Informasi*, 11(2).
<https://doi.org/10.32520/stmsi.v11i2.1750>

Nugroho, A., Soeleman, M. A., Pramunendar, R. A., & Nurhindarto, A. (2023). Peningkatan performa ensemble learning pada segmentasi semantik gambar dengan teknik oversampling untuk class imbalance. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2023106831>

Putri, T. A. E., Widiharih, T., & Santoso, R. (2023). Penerapan tuning hyperparameter RandomSearchCV pada adaptive boosting untuk prediksi kelangsungan hidup pasien gagal jantung. *Jurnal Gaussian*, 11(3), 397–406.
<https://doi.org/10.14710/j.gauss.11.3.397-406>

Rahmat, A., Syafiih, M., & Faid, M. (2023). Implementasi klasifikasi potensi

penyakit jantung menggunakan metode C4.5 berbasis website (studi kasus Kaggle). *INFOTECH Journal*, 9(2), 393–400.
<https://doi.org/10.31949/infotech.v9i2.6295>

Sartika, D., & Sensuse, D. I. (2017). Perbandingan algoritma klasifikasi Naive Bayes, nearest neighbour, dan decision tree pada studi kasus pengambilan keputusan pemilihan pola pakaian. *JATISI*, 3(2).
<https://doi.org/10.35957/jatisi.v3i2.78>

Soper, D. S. (2023). Hyperparameter optimization using successive halving with greedy cross validation. *Algorithms*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/a16010017>

Wijiyanto, W., Pradana, A. I., Sopingi, S., & Atina, V. (2024). Teknik K-fold cross validation untuk mengevaluasi kinerja mahasiswa. *Jurnal Algoritma*, 21(1).
<https://doi.org/10.33364/algoritma/v21-1.1618>

Schmucker, R., Donini, M., Zafar, M. B., Salinas, D., & Archambeau, C. (2021). Multi-objective asynchronous successive halving. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2106.12639>

Koyamada, S., Nishimori, S., & Ishii, S. (2024). A batch sequential halving algorithm without performance degradation. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.00424>

Bergstra, J., Bardenet, R., Bengio, Y., & Kégl, B. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *Journal of Machine Learning Research*, 13, 281–305.

Li, L., Jamieson, K., DeSalvo, G., Rostamizadeh, A., & Talwalkar, A. (2018). Hyperband: A novel bandit-based approach to hyperparameter optimization. *Journal of Machine Learning Research*, 18(185), 1–52.

Géron, A. (2019). *Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow* (2nd ed.). O'Reilly Media.

Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2012). *Data mining: Concepts and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.

Ariwibowo, T. (2019). *Perbandingan metode imputasi mean, median, modus, dan 1-NN pada hasil klasifikasi K-nearest neighbour* (Skripsi). Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.
<https://repository.upnvj.ac.id/1346/1/AWAL.pdf>

AbdelAziz, N. M., Bekheet, M., Salah, A., El-Saber, N., & AbdelMoneim, W. T. (2025). A comprehensive evaluation of machine learning and deep learning models for churn prediction. *Information*, 16(7), 537.
<https://doi.org/10.3390/info16070537>

Baskan, M. (2023). *A machine learning framework to address customer churn problem using uplift modelling and prescriptive analysis* [Tesis]. National College of Ireland. <https://norma.ncirl.ie/6081/1/mervebaskan.pdf>