



Peramalan Harga Minyak Mentah Brent Berbasis Model Prophet dengan Optimasi Tree-Structured Parzen Estimator (TPE)

Bagas Maulana Akbar¹, Fetty Tri Anggraeny², Eka Prakarsa Mandyartha³

^{1,2,3}Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Indonesia

E-mail: 21081010307@student.upnjatim.ac.id

Article Info	Abstract
Article History Received: 2025-09-10 Revised: 2025-10-15 Published: 2025-11-10 Keywords: <i>Forecasting; Prophet; TPE Optimization; Time Series.</i>	The volatility of crude oil prices significantly affects the global economy, particularly for energy-importing nations. Accurate forecasting models are essential for effective energy policy and economic planning. This study develops a Prophet model optimized with the Tree-Structured Parzen Estimator (TPE) to forecast Brent crude oil prices. Historical daily price data from Investing.com (2018–2024) were preprocessed through normalization and missing value handling. Hyperparameter optimization was conducted using Optuna with 100 iterations. Model performance was evaluated using MAE, RMSE, and MAPE. Results indicate that Prophet-TPE achieved MAE 6.53, RMSE 57.10, and MAPE 9.85%, outperforming baseline Prophet, ARIMA, SARIMA, and Exponential Smoothing models. These findings confirm that hyperparameter optimization significantly improves forecasting accuracy. The Prophet-TPE approach provides an efficient and adaptive solution for crude oil price prediction, contributing to better energy policy formulation and economic stability.
Artikel Info	Abstrak
Sejarah Artikel Diterima: 2025-09-10 Direvisi: 2025-10-16 Dipublikasi: 2025-11-10 Kata kunci: <i>Peramalan; Prophet; Optimasi TPE; Deret Waktu.</i>	Fluktuasi harga minyak mentah berdampak besar pada perekonomian global, khususnya bagi negara pengimpor energi. Prediksi harga yang akurat diperlukan untuk mendukung kebijakan energi dan perencanaan ekonomi. Penelitian ini mengembangkan model Prophet yang dioptimasi dengan Tree-Structured Parzen Estimator (TPE) untuk meramalkan harga minyak mentah Brent. Data historis harga harian Brent dari Investing.com (2018–2024) digunakan melalui tahap preprocessing, termasuk normalisasi dan penanganan data hilang. Optimasi hyperparameter dilakukan menggunakan Optuna dengan 100 iterasi. Kinerja dievaluasi menggunakan MAE, RMSE, dan MAPE. Hasil menunjukkan Prophet-TPE menghasilkan MAE 6.53, RMSE 57.10, dan MAPE 9.85%, lebih baik dibandingkan Prophet baseline maupun model ARIMA, SARIMA, dan Exponential Smoothing. Temuan ini menegaskan bahwa optimasi hyperparameter meningkatkan akurasi prediksi. Model Prophet-TPE berpotensi menjadi pendekatan adaptif dan efisien dalam meramalkan harga minyak, sekaligus memberikan kontribusi penting bagi kebijakan energi dan stabilitas ekonomi.

I. PENDAHULUAN

Fluktuasi harga minyak mentah dunia memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap perekonomian global. Sebagai salah satu komoditas energi utama, harga minyak mentah mempengaruhi berbagai sektor, mulai dari sektor energi, industri, hingga transportasi (BAFFOE KWARTENG, S., & ANDREEVICH, P. A., 2024). Negara-negara yang bergantung pada impor energi, seperti Indonesia, sangat terdampak oleh perubahan harga minyak yang tidak menentu. Oleh karena itu, memiliki sistem prediksi harga minyak yang akurat sangat penting untuk mengelola kebijakan ekonomi dan energi, serta merumuskan strategi yang adaptif terhadap dinamika pasar energi global.

Minyak mentah Brent, yang diperdagangkan di pasar internasional, menjadi salah satu acuan

utama harga minyak global, terutama di kawasan Eropa dan Asia (INVESTOPEDIA, 2021). Harga minyak Brent sering digunakan sebagai dasar dalam penentuan harga bahan bakar domestik serta dalam perencanaan kebijakan fiskal negara. Namun, mengingat tingginya volatilitas harga minyak yang dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, seperti ketegangan geopolitik, kebijakan produksi negara produsen, serta dinamika permintaan global, prediksi harga minyak mentah menjadi sebuah tantangan yang kompleks.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemilihan pendekatan yang tepat dalam proses peramalan berpengaruh besar terhadap tingkat akurasi hasil yang diperoleh (PURNAMA, H., FITRI, R. N., & UTOMO, D. P., 2024). Hal ini dikarenakan data deret waktu pada bidang

ekonomi umumnya memiliki karakteristik yang kompleks dan non-linear. Studi sebelumnya juga menegaskan bahwa model yang digunakan harus mampu menyesuaikan diri dengan pola data yang berfluktuasi agar hasil prediksi lebih representative (PURBASARI, I. Y., ANGGRAENY, F. T., & ARDININGRUM, N. A., 2020). Untuk itu, diperlukan model peramalan yang tidak hanya dapat menangkap tren jangka panjang, tetapi juga pola musiman yang terjadi pada data harga minyak mentah. Model Prophet, yang dikembangkan oleh Facebook, telah terbukti efektif dalam meramalkan data deret waktu dengan kemampuan untuk menangani tren musiman, deteksi titik perubahan tren, serta menangani data yang hilang atau outlier (HOSSAIN, M. B., HOSSAIN, M. S., & MAMUN, S. A., 2023). Namun, meskipun Prophet terbukti efektif, model ini memerlukan optimasi hyperparameter untuk mencapai kinerja prediksi yang maksimal.

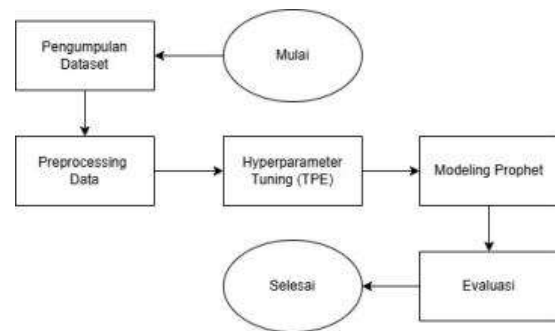
Tree-Structured Parzen Estimator (TPE) merupakan salah satu teknik optimasi berbasis probabilistik yang dapat meningkatkan akurasi model prediktif dengan cara mencari kombinasi parameter terbaik secara efisien. Teknik ini telah terbukti mengalahkan metode optimasi lain, seperti grid search atau random search, dalam hal efisiensi dan akurasi (TAO, S., PENG, P., LI, Y., SUN, H., LI, Q., & WANG, H., 2024). Meskipun kombinasi Prophet dan TPE telah diterapkan dalam berbagai studi, penerapan kedua model ini untuk peramalan harga minyak mentah, khususnya Brent, masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan mengembangkan model Prophet yang dioptimasi dengan TPE (Prophet-TPE) untuk meramalkan harga minyak mentah Brent. Penelitian ini menggunakan data historis harga minyak mentah Brent yang telah diproses melalui tahap preprocessing, termasuk penanganan nilai yang hilang, pemformatan data, dan normalisasi. Model ini dievaluasi dengan menggunakan metrik evaluasi standar, yaitu Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Diharapkan, model Prophet-TPE ini dapat memberikan akurasi prediksi yang lebih tinggi, serta menjadi solusi yang lebih efisien dan adaptif dalam meramalkan harga minyak mentah dunia.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, kerangka penelitian diperlukan untuk menggambarkan penelitian

yang dilakukan, berikut gambaran alur penelitian yang ditunjukkan oleh Gambar 1



Gambar 1. Alur Penelitian

A. Pengumpulan Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah data historis harga minyak mentah Brent Crude yang diambil dari situs finansial terpercaya, Investing.com. Data yang diperoleh mencakup harga penutupan harian minyak Brent dari 2 Januari 2018 hingga 31 Desember 2024, dengan total 1.808 baris data.

B. Pengumpulan Dataset

1. Konversi Format Data: Kolom Tanggal (Date) diubah menjadi format datetime dan diubah menjadi kolom ds, sementara kolom Harga (Price) diubah menjadi kolom y sebagai target yang akan diprediksi.
2. Cek Missing Values: Dilakukan pengecekan terhadap missing value pada kolom ds dan y. Data yang memiliki nilai kosong pada kedua kolom ini dihapus.
3. Pembagian Dataset: ataset dibagi menjadi tiga bagian dengan proporsi 70% untuk training set, 15% untuk validation set, dan 15% untuk test set, menggunakan pendekatan time-based split untuk menjaga urutan temporal data.
4. Normalisasi: Data harga penutupan (y) dinormalisasi untuk memastikan keseragaman dalam skala data dan mempercepat proses pelatihan model.

C. Hyperparameter Tuning (TPE)

Hyperparameter tuning memiliki peran krusial dalam meningkatkan kualitas hasil peramalan, terutama pada data dengan pola yang kompleks dan fluktuatif. Pemilihan konfigurasi parameter yang tepat tidak hanya meningkatkan performa model, tetapi juga membuat model lebih efisien dalam proses komputasi. Hal ini menunjukkan bahwa optimasi merupakan bagian penting yang

tidak dapat diabaikan dalam membangun model prediksi yang handal.

Proses tuning hyperparameter dilakukan untuk meningkatkan kinerja model Prophet dalam meramalkan harga minyak mentah dunia menggunakan algoritma Tree-Structured Parzen Estimator (TPE) yang diimplementasikan melalui pustaka Optuna. Beberapa hyperparameter penting yang dituning meliputi changepoint_prior_scale, seasonality_prior_scale, period, alpha_exp, n_changepoints, dan fourier_order. TPE digunakan untuk mengeksplorasi berbagai kombinasi parameter dan memilih konfigurasi yang menghasilkan error terkecil pada data validasi. Proses tuning dilakukan dalam 100 iterasi untuk menemukan kombinasi optimal tanpa membebani waktu komputasi secara berlebihan.

D. Prophet

Prophet adalah model peramalan deret waktu yang dikembangkan oleh Facebook, yang dirancang khusus untuk menangani data dengan pola musiman, tren jangka panjang, dan perubahan tren yang tidak teratur (changepoints) (TAO, S., PENG, P., LI, Y., SUN, H., LI, Q., & WANG, H., 2024). Dalam konteks penelitian ini, Prophet digunakan untuk meramalkan harga minyak mentah Brent dengan mempertimbangkan fluktuasi musiman dan tren jangka panjang. Prophet memodelkan data dengan empat komponen utama: tren, musiman, efek hari libur, dan kesalahan residual. Model ini mampu menangani data dengan nilai hilang (missing values) dan outliers, serta secara otomatis mendeteksi perubahan tren (SIMAMORA, J. P., MARTHA, S., & ANDANI, W., 2024). Keunggulan utama Prophet adalah kemampuannya untuk menangani data time series yang kompleks dengan efisien, menjadikannya pilihan yang tepat untuk meramalkan harga minyak mentah yang dipengaruhi oleh banyak faktor eksternal.

E. Evaluasi

Evaluasi model dilakukan untuk menilai performa akhir dari model Prophet yang dioptimasi menggunakan TPE. Proses evaluasi dimulai dengan prediksi pada data uji yang tidak terlibat dalam pelatihan atau tuning hyperparameter. Model menghasilkan nilai prediksi untuk setiap titik waktu, yang kemudian dibandingkan dengan nilai aktual

dari data uji. Untuk mengukur akurasi prediksi, dihitung tiga metrik evaluasi utama: MAE, RMSE, MAPE. Hasil evaluasi ini memberikan gambaran tentang akurasi model dalam meramalkan harga minyak mentah, dimana semakin kecil nilai ketiga metrik tersebut, semakin tinggi akurasi dan keandalan model. Proses ini merupakan langkah akhir sebelum menyimpulkan keberhasilan penerapan model Prophet-TPE.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perbandingan Dataset

Tabel 1. Hasil Perbandingan Rasio Dataset

Rasio	MAE	MSE	RMSE	Mape
80:10:10	12.068	180.43	13.432	18.02%
70:15:15	8.4227	9.677	93.648	13.16%

Skenario pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh rasio pembagian dataset terhadap performa model dalam memprediksi harga minyak mentah Brent. Dua skenario pembagian dataset diterapkan, yaitu 80:10:10 dan 70:15:15, yang membedakan proporsi data untuk pelatihan, validasi, dan pengujian. Data validasi digunakan untuk mengevaluasi performa model dan mendeteksi potensi overfitting atau underfitting. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa skenario 70:15:15 memberikan performa yang lebih baik dengan nilai MAE, RMSE, dan MAPE yang lebih rendah dibandingkan dengan skenario 80:10:10. Hal ini disebabkan oleh porsi data validasi yang lebih besar, memungkinkan model untuk lebih optimal dalam generalisasi dan menghindari kesalahan prediksi.

B. Hasil Hyperparameter Tuning (TPE)

Tabel 2. Parameter Terbaik

Parameter	MAE
Alpha	0.129
Period	35.60
Fourier Order	19
N Changepoints	10
Seasonality Prior scale	2.34
Changepoint prior scale	4.45

Proses tuning hyperparameter menggunakan Tree-Structured Parzen Estimator (TPE) bertujuan untuk mengoptimalkan kombinasi parameter dalam model Prophet agar dapat meningkatkan akurasi prediksi harga minyak

mentah Brent. Pemilihan konfigurasi parameter yang tepat tidak hanya meningkatkan performa model, tetapi juga membuat model lebih efisien dalam proses komputasi (NISA, A. C., RAHMAT, B., & JUNAIDI, A., 2025). Parameter yang diuji meliputi seasonality prior scale, changepoint prior scale, seasonality period, fourier order, n changepoint, dan alpha. Hasil tuning terbaik menunjukkan kombinasi parameter berikut: alpha 0.129, period 35.60, fourier order 19, n changepoint 10, seasonality prior scale 2.34, dan changepoint prior scale 4.45. TPE digunakan untuk mengeksplorasi berbagai kombinasi parameter dan memilih konfigurasi yang menghasilkan error terkecil pada data validasi (RAHMAN, A. N., & HASAN, M. D., 2023). Proses tuning dilakukan dalam 100 iterasi untuk menemukan kombinasi optimal tanpa membebani waktu komputasi secara berlebihan.

Tabel 3. Metrik Evaluasi TPE

MAE	MSE	RMSE	Mape
6.5283	7.5564	57.100	9.85%

Kombinasi ini memberikan keseimbangan antara fleksibilitas model dan kemampuan generalisasi, di mana model dapat menangkap pola musiman yang dinamis dan perubahan tren dengan sensitivitas yang cukup, namun tidak rentan terhadap noise. Hasil evaluasi model menggunakan metrik MAE, MSE, RMSE, dan MAPE menunjukkan bahwa model Prophet yang telah dioptimasi dengan TPE menghasilkan MAE sebesar 6.53, RMSE 57.10, dan MAPE 9.85%, yang menunjukkan akurasi prediksi yang baik. Proses tuning ini berhasil meningkatkan performa model tanpa menyebabkan overfitting, sehingga model dapat menghasilkan prediksi yang lebih akurat dan stabil.

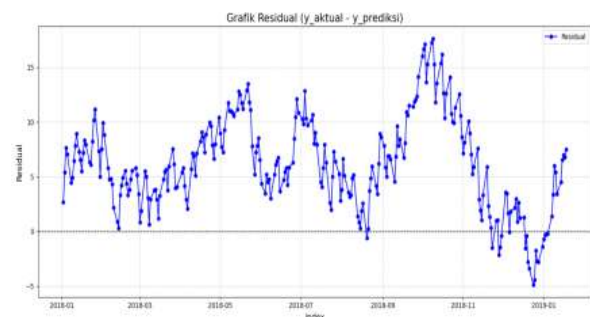
C. Hasil Pengujian Perbandingan Model

Tabel 4. Hasil Perbandingan Model

Model	MAE	MSE	RMSE	Mape
Exponensl Smothing	12.867	13.971	195.19	19.47%
Arima	11.372	12.456	155.11	17.21%
Sarima	12.658	13.730	188.52	19.17%
Prophet (Baseline)	8.4227	9.677	93.648	13.16%
Prophet (tuned)	6.5283	7.5564	57.100	9.85%

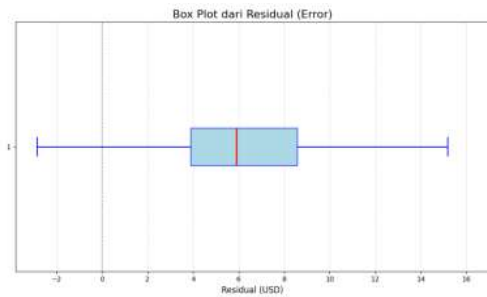
Skenario pengujian ini bertujuan untuk membandingkan performa berbagai model dalam memprediksi harga minyak mentah Brent, termasuk Prophet (Baseline), Prophet (Tuned), Exponential Smoothing, ARIMA, dan SARIMA, dengan menggunakan metrik evaluasi seperti MAE, RMSE, MSE, dan MAPE. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Prophet (Tuned), yang dioptimasi menggunakan Tree-Structured Parzen Estimator (TPE), memberikan performa terbaik dengan nilai MAE, RMSE, MSE, dan MAPE yang lebih rendah dibandingkan model lainnya, membuktikan bahwa optimasi hyperparameter dapat meningkatkan akurasi prediksi. Sebaliknya, Exponential Smoothing menunjukkan performa terburuk dengan nilai MAE dan MAPE yang lebih tinggi, menunjukkan kesulitan dalam menangkap pola musiman dan tren yang kompleks. ARIMA dan SARIMA, meskipun lebih baik dari Exponential Smoothing, masih kesulitan dalam menangkap perubahan tren dan pola musiman yang tidak linier. Secara keseluruhan, hasil ini mengkonfirmasi bahwa optimasi hyperparameter dalam Prophet dapat memberikan peningkatan signifikan dalam akurasi dan stabilitas prediksi harga minyak mentah Brent.

D. Evaluasi Model



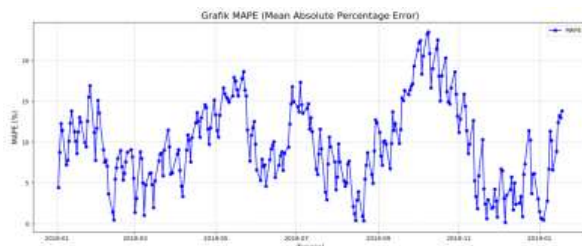
Gambar 2. Grafik Residual

Pada Gambar 1 ini menunjukkan perbedaan antara nilai aktual dan prediksi. Titik residual tersebar secara acak, yang menandakan model tidak menunjukkan bias yang jelas. Residual yang lebih tersebar menunjukkan model dengan kinerja yang baik.



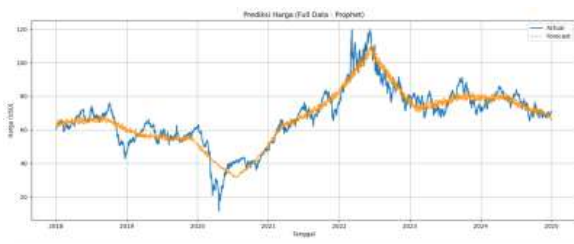
Gambar 3. Box Plot Error

Pada Gambar 2 ini Box plot menunjukkan distribusi residual, dengan mayoritas error berada di antara 4 hingga 8 USD. Beberapa nilai outlier mengindikasikan adanya beberapa prediksi yang meleset jauh dari nilai aktual.



Gambar 4. Grafik Mappe

Pada Gambar 3 ini memperlihatkan fluktuasi kesalahan dalam persentase (MAPE). MAPE berada dalam kisaran 5% hingga 20%, dengan beberapa puncak yang menunjukkan periode kesalahan model yang lebih besar.



Gambar 5. Grafik Aktual Vs Prediksi

Pada Gambar 4 ini menampilkan perbandingan antara harga aktual dan prediksi menggunakan model Prophet. Model mengikuti tren harga dengan baik, meskipun ada beberapa deviasi dari harga yang sebenarnya.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa model Prophet yang dioptimasi menggunakan Tree-Structured Parzen Estimator (TPE) efektif dalam memprediksi harga minyak mentah

Brent, dengan kemampuan menangkap pola musiman dan tren jangka panjang. Evaluasi model menggunakan MAE, RMSE, dan MAPE menunjukkan akurasi yang baik, di mana nilai MAE, RMSE, dan MAPE berada dalam batas yang dapat diterima. Optimasi hyperparameter pada Prophet-TPE meningkatkan akurasi prediksi dibandingkan model tanpa optimasi. Selain itu, model ini berhasil diimplementasikan dalam aplikasi web berbasis Flask untuk prediksi harga minyak secara efisien.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, pengayaan fitur eksternal seperti data geopolitik dan kebijakan OPEC dapat meningkatkan akurasi model. Selain itu, model ini bisa dikembangkan untuk memprediksi volume transaksi atau permintaan minyak, yang berguna untuk pengambilan keputusan sektor energi. Aplikasi web yang dikembangkan juga bisa ditingkatkan dengan fitur pemantauan real-time untuk memberikan informasi lebih cepat dan responsif terhadap perubahan pasar.

DAFTAR RUJUKAN

- BAFFOE KWARTENG, S., & ANDREEVICH, P. A., 2024. Comparative Analysis of ARIMA, SARIMA and Prophet Model in Forecasting. *Research & Development*, 5(4), pp.110-120.
<https://doi.org/10.11648/j.rd.20240504.13>
- INVESTOPEDIA, 2021. Brent crude vs. West Texas Intermediate (WTI): The differences. [Online]. Available at: <https://www.investopedia.com/ask/answers/052615/what-difference-between-brent-crude-and-west-texas-intermediate.asp> [Accessed: 25 Mar. 2025].
- PURNAMA, H., FITRI, R. N., & UTOMO, D. P., 2024. Perbandingan metode ARIMA dan LSTM untuk peramalan harga saham. *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, 11(1), pp.45-52.
<https://doi.org/10.25126/jtiik.2024112345>
- PURBASARI, I. Y., ANGGRAENY, F. T., & ARDININGRUM, N. A., 2020. Time-series modeling for consumer price index forecasting using comparison analysis of AutoRegressive Integrated Moving Average

- and Artificial Neural Network. In: *Proc. Int. Conf. Culture Heritage, Education, Sustainable Tourism, and Innovation Technologies (CESIT 2020)*. pp.599–604. <https://doi.org/10.5220/0010369200003051>
- HOSSAIN, M. B., HOSSAIN, M. S., & MAMUN, S. A., 2023. Forecasting oil prices using hybrid Prophet and ARIMA models. *Energies*, 16(13), p.1371. <https://doi.org/10.3390/en16101371>
- TAO, S., PENG, P., LI, Y., SUN, H., LI, Q., & WANG, H., 2024. Supervised contrastive representation learning with tree-structured parzen estimator Bayesian optimization for imbalanced tabular data. *Expert Syst. Appl.*, 237, 121294. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121294>
- SIMAMORA, J. P., MARTHA, S., & ANDANI, W., 2024. Penerapan algoritma Prophet pada peramalan harga saham. *Equator: J. Math. Stat. Sci.*, 3(2), pp.94–101.
- ANGGRAINI, N., FARIDA, I., & KURNIAWAN, T., 2024. Penerapan Holt-Winters untuk peramalan harga beras di Provinsi Jawa Timur dengan pendekatan time series. *SCAN: J. Teknol. Inf. dan Komun.*, 19(2), pp.123–132. <https://doi.org/10.33005/scan.v19i2.4890>
- NISA, A. C., RAHMAT, B., & JUNAIDI, A., 2025. SVM optimization for autism spectrum disorder classification: A comparison of PCA, PSO, and grid search. *J. Artif. Intell. Eng. Appl.*, 4(3).
- RAHMAN, A. N., & HASAN, M. D., 2023. Tree-structured parzen estimator: Understanding its algorithm components and their roles for better empirical performance. *arXiv preprint*, arXiv:2304.11127. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.11127>