

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi landasan penting dalam sebuah studi ilmiah karena memberikan gambaran mengenai pendekatan, metode, serta temuan-temuan yang telah dilakukan sebelumnya terkait topik yang sama atau sejenis. Melalui kajian penelitian terdahulu, peneliti dapat memahami perkembangan metode forecasting yang telah digunakan, mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan masing-masing pendekatan, serta menemukan celah penelitian (research gap) yang belum banyak dibahas secara mendalam. Dalam konteks peramalan harga emas dan pasangan XAU/USD, berbagai penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode statistik konvensional, model nonparametrik, hingga pendekatan berbasis kecerdasan buatan seperti deep learning dan reinforcement learning. Setiap metode menawarkan tingkat akurasi dan kompleksitas yang berbeda, mulai dari model sederhana yang mudah diinterpretasikan hingga model kompleks dengan akurasi tinggi namun membutuhkan sumber daya komputasi besar dan sulit dijelaskan secara intuitif.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

|         |   |  |
|---------|---|--|
| Jurnal  | : | Journal of Applied Data Sciences, Vol. 4 No. 4 (2023)  |
| Penulis | : | Indra Maryati, Christian, Adi Suryaputra Paramita  |
| Judul   | : | Gold Prices Time-Series Forecasting: Comparison of Statistical Techniques  |
| Masalah | : | Volatilitas harga emas yang tinggi membuat prediksi sulit dan kurang akurat jika hanya memakai satu metode sederhana   |
| Metode  | : | Linear Regression, Naive Bayes, Simple Average, Moving Average, SES, DES, TES  |
| Hasil   | : | Metode <i>Exponential Smoothing</i> merupakan algoritma terbaik dalam memprediksi harga emas dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dari nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) sebesar 7,12% yang lebih rendah dibandingkan metode lainnya seperti Linear Regression, Naive Bayes, Simple Average, Moving Average, Double |

|         |   |   |
|---------|---|---|
|         |   | Exponential Smoothing, dan Triple Exponential Smoothing. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa <i>Exponential Smoothing</i> dapat memberikan hasil prediksi harga emas yang lebih stabil dan konsisten.  |
| Jurnal  | : | <i>International Journal of Data and Network Science</i> , Vol. 7 (2023)  |
| Penulis | : | Yudhie Andriyana, Yollanda Nalita, Bertho Tantular, I Gede Nyoman Mindra Jaya, Annisa Nur Falah   |
| Judul   | : | Global gold prices forecasting using Bayesian nonparametric quantile generalized additive model   |
| Masalah | : | Harga emas global dipengaruhi oleh indeks USD, DJIA, dan tren waktu yang bersifat non-linear serta mengandung outlier   |
| Metode  | : | Bayesian Nonparametric Quantile Generalized Additive Model (BNQGAM)   |
| Hasil   | : | Pergerakan harga emas global dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu indeks USD, indeks DJIA, serta tren waktu. Dengan menggunakan pendekatan Bayesian Nonparametric Quantile Generalized Additive Model (BNQGAM), penelitian ini mampu menghasilkan prediksi harga emas yang akurat. Nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang diperoleh pada data uji sebesar 9,82% menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, sehingga model ini dapat dikategorikan sangat baik untuk forecasting. Penelitian ini menegaskan bahwa model nonparametrik berbasis Bayesian kuantil lebih fleksibel dalam menangani data non-linear, adanya outlier, serta pola volatilitas harga emas yang kompleks. |
| Jurnal  | : | <i>Malaysian Journal of Mathematical Sciences</i> , Vol. 18 No. 2 (2024)  |
| Penulis | : | M. Rizky Nurhambali, Y. Angraini, A. Fitrianto  |
| Judul   | : | Implementation of Long Short-Term Memory for Gold Prices Forecasting  |
| Masalah | : | Harga emas bersifat non-stasioner dan volatil, sulit diprediksi dengan model konvensional   |
| Metode  | : | Long Short-Term Memory (LSTM) dengan walk-forward validation  |
| Hasil   | : | Metode Long Short-Term Memory (LSTM) mampu memberikan hasil prediksi harga emas dengan akurasi yang sangat tinggi. Penelitian ini menggunakan data harga emas harian periode 2003 hingga 2023 dari World Gold Council,  |

|         |   |   |
|---------|---|---|
|         |   | serta menerapkan validasi silang dengan metode walk-forward validation dalam dua skenario, yaitu sliding window dan expanding window. Model terbaik diperoleh menggunakan kombinasi hyperparameter RMSProp optimizer dengan learning rate 0.001 dan 500 epoch, menghasilkan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) hanya sebesar 0,4867%, yang dikategorikan sebagai high forecasting power. Selain itu, hasil peramalan menunjukkan kecenderungan harga emas global akan terus meningkat dalam jangka panjang, meskipun terdapat fluktuasi pada periode tertentu. Temuan ini menegaskan bahwa LSTM lebih unggul dibandingkan model konvensional seperti ARIMA, khususnya dalam menangani data non-stasioner dan pola jangka panjang.  |
| Jurnal  | : | <i>Bulletin of Monetary Economics and Banking</i> , Vol. 28 (Special Issue) (2025)  |
| Penulis | : | Joni Fat, Parwadi Moengin, Pudji Astuti, Sally Cahyat   |
| Judul   | : | Sustainability in Forex Trading: A Review in Search of The SARSA-FIS  |
| Masalah | : | Forex trading konvensional menghadapi tantangan keberlanjutan, etika, dan manajemen risiko adaptif  |
| Metode  | : | Meta-analisis + hybrid Reinforcement Learning SARSA dengan Fuzzy Inference System (SARSA-FIS)   |
| Hasil   | : | Integrasi algoritma Reinforcement Learning SARSA dengan Fuzzy Inference System (SARSA-FIS) mampu memberikan pendekatan baru dalam pengembangan <i>forex trading robot</i> yang berkelanjutan. Melalui meta-analisis terhadap 56 publikasi (2018–2023), penelitian ini menemukan bahwa SARSA-FIS dapat meningkatkan akurasi pengambilan keputusan, mengelola risiko lebih adaptif, dan mendukung praktik trading yang lebih etis serta ramah lingkungan. Pendekatan ini juga selaras dengan prinsip <i>Socially Responsible Investment (SRI)</i> dan <i>Green AI</i> , sehingga tidak hanya meningkatkan performa trading, tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan ekonomi dan ekologi. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa hybrid SARSA-FIS memiliki potensi besar sebagai inovasi dalam sistem perdagangan forex otomatis yang bertanggung jawab dan berkelanjutan. |
| Jurnal  | : | <i>Applied Mathematical Sciences</i> , Vol. 8 No. 38  |

|         |   |  |
|---------|---|--|
| Penulis | : | I Made Bayu Permana Putra, Rukmi Sari Hartati, I Ketut Gede Darma Putra, Ni Kadek Ayu Wirdiani   |
| Judul   | : | Optimized Backpropagation Learning in Neural Networks with Bacterial Foraging Optimization to Predict Forex Gold Index (XAU/USD)   |
| Masalah | : | Pergerakan harga emas forex (XAU/USD) sangat kompleks dan sulit diprediksi dengan metode sederhana   |
| Metode  | : | Backpropagation Neural Network dioptimasi dengan Bacterial Foraging Optimization (BPBFO)   |
| Hasil   | : | Prediksi indeks harga emas forex (XAU/USD) menggunakan metode <i>Backpropagation Neural Network</i> yang dioptimasi dengan algoritma <i>Bacterial Foraging Optimization (BFO)</i> . Penelitian ini bertujuan meningkatkan kecepatan dan akurasi peramalan harga emas dengan cara mengoptimalkan bobot dan bias pada jaringan saraf. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan BFO membuat proses pelatihan backpropagation berjalan lebih cepat hingga 50% serta meningkatkan akurasi rata-rata sebesar 2% dibandingkan metode backpropagation standar. Dengan demikian, kombinasi Backpropagation dan BFO terbukti lebih efisien serta memberikan prediksi yang lebih akurat terhadap pergerakan harga emas forex dibandingkan metode jaringan saraf tradisional. |

Penelitian mengenai forecasting harga emas dan pergerakan XAU/USD telah berkembang dengan memanfaatkan berbagai pendekatan, mulai dari metode statistik konvensional hingga model berbasis kecerdasan buatan. Maryati, Christian, dan Paramita (2023) membandingkan beberapa metode statistik seperti Linear Regression, Moving Average, dan Exponential Smoothing, dan menemukan bahwa Exponential Smoothing memberikan performa terbaik dengan nilai MAPE sebesar 7,12%. Temuan ini menunjukkan bahwa metode statistik masih relevan ketika pola data relatif stabil, namun pendekatan smoothing cenderung kurang responsif terhadap volatilitas tinggi karena fluktuasi harga diratakan secara berlebihan.

Pendekatan yang lebih fleksibel diterapkan oleh Andriyana dkk. (2023) melalui Bayesian Nonparametric Quantile Generalized Additive Model (BNQGAM) yang

mampu menangani non-linearitas dan outlier dengan melibatkan variabel eksternal seperti indeks USD dan DJIA. Model ini menghasilkan nilai MAPE sebesar 9,82%, yang dikategorikan baik untuk data harga emas global. Meskipun lebih adaptif dibanding metode statistik konvensional, BNQGAM masih memiliki keterbatasan dalam menangkap dinamika tren jangka panjang secara mendalam ketika terjadi perubahan struktural pasar yang signifikan.

Model berbasis deep learning ditunjukkan oleh Nurhambali dkk. (2024) melalui penerapan Long Short-Term Memory (LSTM) dengan teknik walk-forward validation pada data harga emas periode 2003–2023. Penelitian ini menghasilkan nilai MAPE yang sangat rendah, yaitu 0,4867%, yang menandakan tingkat akurasi prediksi yang sangat tinggi. Namun, keunggulan akurasi tersebut dibayar dengan kompleksitas model, kebutuhan komputasi besar, proses tuning parameter yang rumit, serta rendahnya interpretabilitas, sehingga model ini kurang ideal bagi pengguna non-teknis yang membutuhkan transparansi hasil.

Penelitian lain oleh Fat dkk. (2025) serta Putra dkk. menyoroti penggunaan metode hybrid seperti SARSA-FIS dan Backpropagation Neural Network yang dioptimasi dengan Bacterial Foraging Optimization (BFO). Pendekatan tersebut terbukti meningkatkan efisiensi pelatihan dan akurasi model, dengan peningkatan performa hingga 2% dan percepatan proses pelatihan sekitar 50%. Namun, penelitian-penelitian ini lebih berfokus pada optimisasi sistem dan pengambilan keputusan trading, bukan pada pemodelan tren harga secara langsung, sehingga konteks forecasting harga emas jangka panjang masih terbatas.

Secara keseluruhan, penelitian terdahulu menunjukkan adanya trade-off yang jelas antara akurasi, kompleksitas, dan interpretabilitas model. Metode statistik unggul dari sisi kesederhanaan namun kurang adaptif terhadap volatilitas ekstrem, model nonparametrik lebih fleksibel terhadap pola non-linear tetapi masih terbatas pada tren jangka panjang, sementara deep learning menawarkan akurasi tinggi dengan konsekuensi kompleksitas dan rendahnya transparansi. Berdasarkan kondisi tersebut, dibutuhkan pendekatan forecasting yang mampu menangkap tren jangka panjang dan perubahan struktural harga emas, tetap ringan secara komputasi, serta

mudah diinterpretasikan, sehingga hasil prediksi tidak hanya akurat secara statistik tetapi juga informatif dan aplikatif dalam analisis pasar.

## **2.2 Teori tentang Topik Skripsi**

### **2.2.1 Forex**

Forex (foreign exchange) merupakan pasar keuangan global yang memperdagangkan mata uang antarnegara dengan volume transaksi terbesar dibandingkan instrumen finansial lainnya[10]. Berdasarkan data Bank for International Settlements, nilai transaksi forex global mencapai lebih dari 7,5 triliun USD per hari, menunjukkan tingkat likuiditas yang sangat tinggi[11]. Likuiditas yang besar ini menjadikan forex sebagai salah satu pasar paling dinamis, di mana harga dapat berubah dalam hitungan detik akibat perubahan sentimen, berita ekonomi, atau kebijakan moneter. Berbeda dengan bursa saham yang memiliki jam operasional terbatas, pasar forex beroperasi selama 24 jam dalam 5 hari kerja, memungkinkan trader dari seluruh dunia untuk berpartisipasi kapan pun sesuai zona waktu mereka[11].

Dalam struktur operasionalnya, forex merupakan pasar over-the-counter (OTC), yang berarti tidak memiliki pusat perdagangan tunggal. Transaksi terjadi melalui jaringan bank internasional, institusi keuangan, hedge fund, perusahaan multinasional, serta trader individu. Sistem desentralisasi ini menyebabkan harga antar broker dapat sedikit berbeda, tergantung pada penyedia likuiditas yang digunakan. Faktor ini juga membuat forex sangat responsif terhadap peristiwa global seperti pengumuman suku bunga, data inflasi, Non-Farm Payroll (NFP), dan isu geopolitik. Dengan demikian, pemahaman terhadap kondisi makroekonomi menjadi bagian penting dari analisis forex. Perdagangan forex dilakukan dalam bentuk currency pair, di mana satu mata uang dibeli dan mata uang lain dijual pada saat yang sama. Beberapa pasangan populer antara lain EUR/USD, GBP/USD, dan USD/JPY. Namun, penelitian ini fokus pada pasangan XAU/USD, yaitu harga emas yang dinyatakan dalam dolar AS. Berbeda dengan major pairs lainnya, XAU/USD tidak hanya merepresentasikan dinamika pasar valas, tetapi juga mencerminkan pergerakan komoditas emas, yang berperan sebagai aset lindung nilai (safe haven

asset). Hal ini menjadikan XAU/USD lebih volatil dan lebih sensitif terhadap perubahan sentimen risiko global. Ketika terjadi ketidakpastian, seperti konflik geopolitik atau perlambatan ekonomi, investor cenderung masuk ke emas sebagai bentuk perlindungan nilai.

Forex dianggap sebagai peluang yang menarik bagi trader ritel karena leverage yang tinggi dan akses yang mudah melalui broker online, risiko di pasar ini juga sangat besar[12]. Faktor penyebabnya mencakup kurangnya analisis berbasis data, penggunaan leverage berlebihan, serta ketidakmampuan mengelola volatilitas harga. Realitas ini menegaskan bahwa trading forex bukan hanya persoalan intuisi atau spekulasi, tetapi memerlukan pendekatan analitis dan pemodelan prediktif yang kuat[12]. Dalam konteks inilah metode forecasting seperti Prophet menjadi relevan untuk membantu memprediksi arah pergerakan harga.

Selain itu, karakteristik forex yang terus bergerak secara real-time membuat akurasi prediksi jangka pendek menjadi sangat menantang. Harga dapat berubah drastis karena rilis data ekonomi atau kebijakan bank sentral seperti Federal Reserve. Pada pasangan XAU/USD, volatilitas bahkan cenderung lebih tinggi dibandingkan mayor pairs lainnya karena emas dipengaruhi oleh faktor tambahan seperti tingkat suku bunga riil, inflasi global, indeks dolar (DXY), serta permintaan industri dan investasi. Oleh sebab itu, analisis harga emas memerlukan model yang mampu menangani tren jangka panjang, pola musiman, dan potensi outlier kriteria yang sesuai dengan kemampuan Prophet.

### **2.2.2 Broker**

Broker dalam konteks perdagangan forex merupakan elemen fundamental yang menjembatani transaksi antara trader dengan pasar valuta asing global. Berbeda dengan pasar saham yang memiliki bursa terpusat, forex beroperasi secara over the counter (OTC), sehingga akses ke pasar hanya dapat dilakukan melalui perantara yang memiliki konektivitas langsung dengan penyedia likuiditas internasional[13]. Broker bertugas menyalurkan order trader baik pembelian maupun penjualan ke jaringan likuiditas yang terdiri dari bank-bank besar, institusi keuangan, prime brokers, dan agregator harga[13]. Tanpa broker, trader ritel tidak memiliki akses ke

pasar antar-bank (interbank market) yang merupakan pusat terbentuknya harga forex secara global.

Dalam operasionalnya, broker forex dibagi dalam dua kategori, yaitu Dealing Desk (Market Maker) dan Non-Dealing Desk (NDD)[14]. Broker Dealing Desk menciptakan pasar internal bagi klien mereka dengan menetapkan harga sendiri berdasarkan referensi dari pasar interbank. Pada model ini, broker dapat menjadi counterparty langsung dari posisi trader, sehingga terdapat potensi konflik kepentingan apabila eksekusi dilakukan tidak secara transparan. Namun, market maker biasanya menawarkan spread yang lebih stabil dan akses mudah bagi pemula. Sebaliknya, broker Non-Dealing Desk menghubungkan order trader langsung ke pasar likuiditas eksternal tanpa intervensi harga. NDD terbagi menjadi dua tipe, yaitu STP (Straight Through Processing) dan ECN (Electronic Communication Network)[14]. Model STP menyalurkan order ke satu atau lebih penyedia likuiditas, sedangkan ECN menghubungkan trader ke jaringan yang mempertemukan banyak pelaku pasar, sehingga harga cenderung lebih kompetitif, spread lebih rendah, namun komisi transaksi lebih tinggi. Perbedaan model bisnis broker mempengaruhi kualitas eksekusi dan risiko yang ditanggung trader. Pada broker ECN/STP, kecepatan eksekusi, slippage, dan kedalaman pasar lebih mencerminkan kondisi real-time di pasar global. Hal ini sangat penting pada instrumen XAU/USD yang dikenal memiliki volatilitas tinggi serta sering mengalami lonjakan harga dalam hitungan detik akibat news-release seperti FOMC, CPI, atau NFP. Kinerja broker yang buruk dapat menyebabkan slippage besar, requote, atau keterlambatan eksekusi yang berdampak langsung pada kerugian posisi trader. Oleh karena itu, pemilihan broker tidak hanya bersifat administratif, tetapi merupakan bagian dari pengelolaan risiko dalam trading profesional.

Selain peran sebagai perantara transaksi, broker modern juga menyediakan berbagai layanan pendukung seperti data pasar real-time, leverage, platform trading (MetaTrader, cTrader, TradingView), akun demo, serta materi edukatif. Namun, aspek terpenting dalam memilih broker adalah regulasi[15]. Broker yang teregulasi

diawasi oleh badan keuangan seperti FCA (Inggris), NFA/CFTC (AS), CySEC (Eropa), ASIC (Australia), atau BAPPEBTI (Indonesia). Regulasi ini memastikan bahwa broker menjalankan segregated accounts, menjalankan standar transparansi, memiliki SOP eksekusi yang diaudit, dan mengikuti ketentuan leverage yang melindungi trader ritel[15].

Dalam hubungan dengan penelitian ini, pemahaman mengenai broker menjadi penting karena kualitas data harga yang diambil dari sumber seperti Investing.com, MetaTrader, atau broker tertentu sangat dipengaruhi oleh mekanisme penyedia likuiditas dan eksekusi pasar. Spread yang berbeda, volatilitas yang dihasilkan dari likuiditas rendah, atau penundaan harga pada kondisi ekstrem dapat memengaruhi konsistensi data dan struktur pola time series. Pemodelan forecasting seperti Prophet membutuhkan data yang bersih, stabil, dan representatif terhadap pasar global. Oleh karena itu, mengetahui cara kerja broker dan karakteristik sumber data membantu memastikan bahwa model prediksi yang dibangun benar-benar mencerminkan dinamika XAU/USD yang sesungguhnya, bukan bias data dari broker tertentu.

Secara keseluruhan, broker merupakan komponen kritis dalam ekosistem forex, mulai dari eksekusi teknis hingga kualitas data pasar yang digunakan dalam penelitian akademis. Dengan memahami perannya secara komprehensif, penelitian ini dapat menempatkan forecasting harga emas pada konteks yang lebih akurat, terutama ketika menggunakan model seperti Prophet yang sangat sensitif terhadap pola tren dan perubahan struktural dalam data historis.

### **2.2.3 XAUUSD**

XAU/USD merupakan pasangan instrumen finansial yang merepresentasikan nilai satu troy ounce emas (XAU) yang dihargai dalam dolar Amerika Serikat (USD). Tidak seperti mayor pairs lain dalam pasar forex, XAU/USD memiliki karakteristik ganda: ia berfungsi sebagai komoditas fisik dan sekaligus aset keuangan global. Emas telah lama dianggap sebagai safe haven asset, yaitu instrumen yang cenderung mempertahankan nilai atau bahkan menguat ketika pasar berada dalam kondisi ketidakpastian[16]. Peran ganda inilah yang membuat

pergerakan XAU/USD jauh lebih kompleks dibandingkan pasangan mata uang biasa, karena dinamika harganya ditentukan oleh kombinasi faktor makroekonomi, geopolitik, moneter, dan psikologis yang saling berinteraksi.

Secara historis, harga emas sangat sensitif terhadap perubahan indikator fundamental seperti inflasi, tingkat suku bunga riil, nilai dolar AS, serta imbal hasil obligasi pemerintah. Ketika inflasi meningkat atau nilai USD melemah, emas cenderung menguat karena investor mencari aset yang mampu mempertahankan daya beli. Sebaliknya, kenaikan suku bunga riil sering menyebabkan penurunan harga emas karena opportunity cost memegang aset non-yielding seperti emas menjadi lebih besar. Selain faktor makro, volatilitas XAU/USD juga dipengaruhi oleh gejolak geopolitik seperti konflik militer, ketidakpastian kebijakan, atau krisis finansial. Peristiwa-peristiwa tersebut memicu *flight to quality*, di mana investor global mengalihkan modal ke emas sebagai bentuk perlindungan risiko.

Selain sebagai safe haven, XAU/USD juga merupakan salah satu instrumen paling aktif diperdagangkan dalam forex modern karena memiliki volatilitas tinggi dan sering menunjukkan pergerakan harga yang tajam dalam waktu singkat. Nilai Average True Range (ATR) XAU/USD secara umum lebih besar dibandingkan mayor pairs seperti EUR/USD atau GBP/USD. Hal ini membuat pasangan ini sangat menarik bagi trader jangka pendek, scalper, dan algorithmic trader yang mencari peluang di market yang bergerak cepat. Namun, tingginya volatilitas juga menimbulkan risiko besar bagi trader ritel yang tidak memiliki strategi manajemen risiko yang baik. Banyaknya lonjakan harga tiba-tiba (*price spike*) pada saat rilis berita ekonomi menyebabkan fluktuasi yang sulit ditangkap oleh metode sederhana seperti moving average atau regresi linear.

Dari sisi mikrostruktur pasar, XAU/USD diperdagangkan melalui jaringan penyedia likuiditas yang terintegrasi dengan pasar emas global. Likuiditas berasal dari London Bullion Market Association (LBMA), CME futures, serta penyedia interbank liquidity lainnya. Karena emas dipengaruhi oleh pasar derivatif seperti futures dan ETF, harga XAU/USD sering mengalami perubahan yang tidak sepenuhnya mencerminkan supply-demand fisik, tetapi lebih dipengaruhi oleh

spekulasi, arbitrase, dan aktivitas institusional berskala besar. Interaksi antara pasar spot, futures, dan ETF ini menciptakan pola harga yang jauh lebih non-linear dibandingkan mayor pairs biasa[16].

Dengan karakteristik tersebut, XAU/USD merupakan instrumen ideal untuk diuji menggunakan model forecasting modern seperti Prophet karena data emas mengandung elemen tren multi-dekade, pergerakan musiman tertentu, serta dinamika berfrekuensi tinggi yang mencerminkan kondisi pasar global[17]. Pemahaman mendalam terhadap perilaku XAU/USD menjadi landasan teoretis penting dalam penelitian ini, terutama untuk memastikan bahwa model yang digunakan mampu menangani kompleksitas struktural dan volatilitas tinggi yang melekat pada pasangan emas–dolar.

## **2.3 Framework/Algoritma yang digunakan**

### **2.3.1 Prophet (Facebook/Meta Prophet)**

Prophet adalah sebuah metode peramalan deret waktu (time series forecasting) yang dikembangkan oleh tim riset Facebook (sekarang Meta) pada tahun 2017. Algoritma ini dirancang untuk memudahkan analisis data runtut waktu yang memiliki pola tren non-linear, musiman, dan sering mengandung anomali[18]. Prophet banyak digunakan dalam bidang bisnis, ekonomi, dan keuangan karena memiliki fleksibilitas yang tinggi dan kemudahan implementasi, baik melalui bahasa pemrograman Python.

Secara umum, Prophet memodelkan data deret waktu dengan menggabungkan tiga komponen utama, yaitu *tren (trend)*, *musiman (seasonality)*, dan *hari libur atau kejadian khusus (holiday/event)* :

1. Komponen Tren (Trend), Merepresentasikan perubahan nilai jangka panjang pada data, misalnya kenaikan atau penurunan harga emas dalam periode tertentu. Prophet menggunakan pendekatan *piecewise linear* atau *logistic growth* untuk menangkap pola tren ini.
2. Musiman (Seasonality), Menggambarkan fluktuasi berulang yang terjadi dalam periode tertentu, seperti pola harian, mingguan, maupun tahunan. Prophet

menggunakan *Fourier series* untuk memodelkan pola musiman dengan fleksibilitas tinggi.

3. Kejadian Khusus (Holiday/Event), Memungkinkan pengguna memasukkan faktor eksternal tertentu yang dapat memengaruhi data, misalnya peristiwa ekonomi global, kebijakan moneter, atau ketegangan geopolitik yang berpotensi memengaruhi harga emas.

Prophet diformulasikan sebagai model aditif yang memisahkan data menjadi komponen tren, musiman, dan kejadian khusus. Taylor dan Letham (2017) dalam white paper Prophet menjelaskan model dasar peramalan Prophet sebagai berikut:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \epsilon(t)$$

$g(t)$  merupakan komponen tren jangka panjang,  $s(t)$  adalah komponen musiman periodik,  $h(t)$  mencakup pengaruh kejadian atau hari libur tertentu, dan  $\epsilon(t)$  merepresentasikan noise atau komponen acak yang tidak dapat dijelaskan oleh model[19]. Formulasi ini membuat Prophet mampu menangkap struktur dasar data tanpa diperlukan transformasi kompleks.

Komponen tren dimodelkan menggunakan pendekatan *piecewise linear trend* di mana kemiringan tren dapat berubah pada titik tertentu yang disebut *changepoint*. Prophet mendeteksi changepoint secara otomatis menggunakan L1 (*L1 regularization*) sehingga perubahan tren yang signifikan dapat ditangkap tanpa menyebabkan model overfitting. Sensitivitas Prophet terhadap perubahan tren ini dapat dikendalikan melalui parameter *changepoint\_prior\_scale*, yang menentukan seberapa fleksibel model merespons perubahan harga. Karakteristik ini menjadi relevan untuk XAU/USD yang sering menunjukkan *structural breaks* akibat peristiwa ekonomi global.

Salah satu keunggulan Prophet adalah kemampuannya untuk tetap bekerja optimal meskipun data mengandung ketidaksempurnaan. Prophet juga

menyediakan interval ketidakpastian (*uncertainty interval*) pada hasil prediksi, sehingga pengguna dapat memperkirakan tingkat risiko dari proyeksi yang dihasilkan[20]. Selain itu, Prophet memiliki visualisasi bawaan yang intuitif sehingga memudahkan interpretasi, bahkan bagi pengguna yang tidak memiliki latar belakang statistik yang kuat. Secara teknis, Prophet memerlukan input data sederhana dengan format dua kolom, yaitu *ds* (*date*) untuk penanda waktu dan *y* (*value*) untuk nilai observasi. Model kemudian dilatih untuk menggabungkan komponen tren, musiman, dan kejadian khusus yang relevan. Hasil akhirnya berupa prediksi nilai di masa depan yang disertai batas bawah dan batas atas, sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif bagi pengambil keputusan.

Dengan karakteristik tersebut, Prophet sangat sesuai digunakan untuk menganalisis harga emas (XAU/USD) yang memiliki volatilitas tinggi dan dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal. Metode ini diharapkan mampu memberikan hasil prediksi yang lebih akurat, fleksibel, dan mudah diinterpretasikan, sehingga dapat membantu investor maupun trader dalam mengambil keputusan yang lebih rasional.

### **2.3.2 Kelebihan dan Kelemahan Prophet**

Seperti metode forecasting lainnya, Prophet memiliki sejumlah kelebihan yang menjadikannya populer digunakan dalam analisis deret waktu, khususnya pada data finansial yang kompleks. Kelebihannya meliputi fleksibilitas dalam menangani tren non-linear, pola musiman, outlier, dan missing value, serta kemudahan implementasi bahkan bagi pengguna tanpa latar belakang statistik yang kuat. Namun, Prophet juga memiliki beberapa kelemahan. Akurasi prediksi Prophet sangat bergantung pada pola historis yang ada, sehingga ketika terjadi perubahan mendadak yang tidak tercermin dalam data masa lalu, hasil prediksi bisa kurang tepat. Selain itu, pada data yang sepenuhnya acak atau tidak memiliki struktur tertentu, performa Prophet mungkin lebih rendah dibanding metode yang lebih kompleks seperti machine learning atau hybrid model. Berikut merupakan table kelebihan dan kelemahan Prophet :

Tabel 2. 2 Kelebihan dan kelemahan prophet

| Kelebihan Prophet  | Kekurangan Prophet   |
|--|--|
| Mampu menangani missing value dan outlier serta menangkap tren dan musiman secara otomatis.[21]                                    | Kinerja dapat menurun saat terdapat perubahan mendadak yang tidak tercermin dalam data historis dan ketika data terlalu pendek untuk menangkap musiman secara lengkap.[21] |
| Tidak memerlukan transformasi stasioner secara eksplisit, sehingga preprocessing menjadi lebih sederhana.[21]                      | Model sangat bergantung pada pola historis; jika sifat time series berubah secara drastis, akurasi bisa terpengaruh secara signifikan.[21]                                 |
| Implementasi cukup sederhana dengan dua kolom utama (ds dan y) dan pemisahan komponen tren/musiman yang jelas.[21]                 | Interval ketidakpastian pada output bisa sulit dipahami oleh pengguna yang belum terbiasa analisis deret waktu.[21]  |
| Efisien untuk dataset dengan resolusi tinggi dan mampu menangani data skala besar dalam aplikasi praktis seperti hidrogeologi.[21] | Kurang optimal jika model harus menangkap dinamika non-linear ekstrem atau ketergantungan jangka panjang kompleks yang di luar asumsi model additive Prophet.[21]          |

### 2.2.3 Market Microstructure XAUUSD

Market microstructure merupakan cabang teori keuangan yang mempelajari bagaimana harga terbentuk melalui interaksi antara pelaku pasar, likuiditas, mekanisme eksekusi, serta aliran pesanan (*order flow*). Pada instrumen XAU/USD, teori ini sangat relevan karena harga emas tidak hanya dipengaruhi oleh faktor fundamental makro seperti inflasi, suku bunga, atau kebijakan moneter, tetapi juga oleh dinamika jangka pendek yang dipicu oleh perilaku pasar, volume transaksi, serta respons terhadap berita ekonomi. Emas dikenal sebagai instrumen yang memiliki *volatility clustering*, yaitu kondisi ketika volatilitas tinggi muncul secara berurutan setelah adanya kejutan pasar. Fenomena ini sering terjadi pada saat rilis data ekonomi besar seperti FOMC, CPI, NFP, maupun peristiwa geopolitik yang menimbulkan ketidakpastian global.

Dalam microstructure pasar emas, harga XAU/USD bergerak melalui interaksi antara pasar spot, futures, dan ETF, di mana ketiganya saling terhubung secara likuiditas dan harga. Informasi dari pasar berfrekuensi tinggi seperti CME Gold Futures sering kali mendominasi pembentukan harga di XAU/USD karena pelaku institusional bertransaksi dalam volume besar. Akibatnya, perubahan harga emas sering kali bersifat non-linear dan terjadi dalam bentuk lonjakan singkat (*price spikes*) yang tidak selalu mencerminkan kondisi fundamental jangka panjang. Selain itu, likuiditas yang berubah-ubah antar sesi perdagangan membuat spread XAU/USD lebih fluktuatif dibandingkan mayor pairs seperti EUR/USD, sehingga noise jangka pendek jauh lebih tinggi.

Relevansi microstructure terhadap penelitian forecasting terletak pada fakta bahwa sebagian besar pergerakan jangka pendek emas didorong oleh shock mikro yang sulit dimodelkan oleh pendekatan statistik maupun machine learning. Pergerakan intraday yang bersifat acak tersebut cenderung tidak memiliki nilai prediktif dan justru dapat mengganggu akurasi model apabila tidak disaring. Oleh karena itu, metode forecasting yang berfokus pada identifikasi tren jangka panjang dan musiman, bukan noise jangka pendek lebih sesuai untuk memodelkan pergerakan XAU/USD.

Prophet menjadi metode yang relevan karena pendekatannya yang berbasis model aditif memungkinkan proses pemisahan komponen tren dan musiman dari komponen acak yang berasal dari dinamika microstructure. Prophet tidak berusaha memprediksi fluktuasi yang terjadi akibat order flow jangka pendek, tetapi lebih menekankan pada pola jangka panjang yang konsisten dan dapat dipelajari dari sejarah harga emas. Selain itu, kemampuan Prophet dalam mendeteksi *changepoints* memberikan keunggulan ketika pasar emas mengalami perubahan tren mendadak yang tidak berasal dari noise, melainkan dari peristiwa makro atau perubahan fundamental yang signifikan. Dengan begitu, microstructure membantu menjelaskan mengapa Prophet tidak memodelkan semua pergerakan harga, tetapi justru lebih fokus pada komponen yang memiliki kontribusi paling besar terhadap arah harga emas dalam periode jangka panjang.

#### 2.2.4 CRISP-DM

CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining) merupakan metodologi standar industri yang paling luas digunakan dalam pengembangan proyek data mining dan machine learning. Framework ini diperkenalkan pada tahun 1996 oleh Daimler-Benz, SPSS, dan NCR sebagai pendekatan yang sistematis dan dapat direplikasi untuk pengolahan data dalam berbagai domain, mulai dari manufaktur, telekomunikasi, kesehatan, hingga keuangan[22]. CRISP-DM menjadi populer karena menyediakan struktur kerja yang fleksibel namun terarah, serta tidak bergantung pada jenis algoritma tertentu. Pendekatan ini membantu peneliti memastikan bahwa setiap tahap dalam proses analisis data dilakukan secara komprehensif, mulai dari pemahaman masalah bisnis hingga implementasi model secara praktis

CRISP-DM terdiri dari enam fase inti yang saling beriterasi: business understanding, data understanding, data preparation, modeling, dan evaluation. Tahap business understanding menekankan pentingnya merumuskan tujuan analisis, konteks operasional, dan kebutuhan strategis penelitian. Pada penelitian harga emas XAU/USD, tahap ini berperan penting dalam mengidentifikasi karakteristik pasar emas sebagai safe haven asset, kompleksitas volatilitasnya, serta faktor ekonomi makro yang memengaruhinya. Pemahaman yang kuat pada tahap ini menentukan arah analisis dan strategi pemodelan yang tepat.

Data understanding, bertujuan untuk melakukan eksplorasi awal terhadap struktur, distribusi, kualitas, serta potensi permasalahan dalam dataset. Untuk data finansial seperti harga XAU/USD, tahap ini sangat krusial karena data sering mengandung nilai ekstrim (price spikes), missing values, duplikasi tanggal, dan pola non-linear. Selain itu, data time series jangka panjang yang digunakan dalam penelitian ini memerlukan pemahaman mendalam terkait pergerakan historis emas, tren multi-tahun, serta periode-periode dengan perubahan struktur tren yang kuat, misalnya saat krisis ekonomi global atau kebijakan moneter ketat.

Data preparation merupakan proses yang membutuhkan perhatian ekstra karena menentukan kualitas input model. Pada tahap ini, dilakukan pembersihan data

(*cleaning*), transformasi format tanggal, penanganan nilai hilang, penghapusan duplikasi, serta pemilihan variabel yang relevan. Dalam konteks Prophet, proses penting termasuk mengonversi data ke format standar (*ds* untuk tanggal dan *y* untuk nilai observasi), memeriksa konsistensi periode waktu, dan memastikan data terurut secara kronologis. Mengingat Prophet sangat sensitif terhadap pola tren dan struktur waktu, kualitas preprocessing memiliki dampak langsung pada akurasi model.

Tahap inti dalam CRISP-DM adalah modeling, yaitu ketika algoritma mulai diterapkan untuk menemukan pola dalam data. Framework ini tidak membatasi jenis metode yang digunakan, sehingga peneliti dapat memilih algoritma yang paling sesuai. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah Facebook/Meta Prophet, yang dipilih karena kemampuan menangani tren non-linear, musiman, dan changepoints pada data historis emas. Pada tahap ini, parameter model seperti seasonality mode, changepoint prior scale, serta horizon prediksi ditentukan dan diuji untuk mencapai performa terbaik.

Setelah model dibangun, tahap evaluation dilakukan untuk mengukur performa dan reliabilitas model menggunakan metrik seperti *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*, *Mean Absolute Error (MAE)*, dan *Root Mean Square Error (RMSE)*. Evaluasi ini tidak hanya menilai kemampuan model dalam memprediksi data uji, tetapi juga menguji apakah hasil prediksi sesuai dengan tujuan awal dan logika ekonomi yang mendasari perilaku harga emas. Evaluasi yang tepat memastikan bahwa model tidak sekadar akurat secara statistik, tetapi juga realistis secara ekonomi dan layak digunakan dalam pengambilan keputusan.

Dengan struktur yang lengkap, fleksibel, dan mudah diadaptasi, CRISP-DM menjadi framework yang ideal untuk penelitian ini. Kompleksitas data harga emas yang mengandung volatilitas tinggi, outlier, dan perubahan struktural membuat CRISP-DM sangat relevan dalam mengorganisasi seluruh alur penelitian. Penggunaan framework ini memastikan bahwa setiap tahap mulai dari pemahaman fenomena ekonomi hingga evaluasi prediksi dilakukan secara sistematis dan ilmiah. Dengan demikian, CRISP-DM tidak hanya menjadi kerangka kerja metodologis,

tetapi juga landasan logis yang memperkuat validitas hasil forecasting menggunakan Prophet.

## 2.4 Tools/software yang digunakan

### 2.4.1 Python

Python merupakan bahasa pemrograman tingkat tinggi yang bersifat open-source dan saat ini mendominasi ekosistem analisis data modern. Fleksibilitas, sintaks yang sederhana, serta dukungan pustaka yang sangat luas menjadikan Python sebagai standar de facto dalam bidang data science, machine learning, dan analisis keuangan[23]. Popularitas Python tercermin dari laporan tahunan Stack Overflow dan TIOBE Index, yang menunjukkan bahwa Python secara konsisten menempati peringkat teratas sebagai bahasa paling diminati oleh peneliti, praktisi industri, hingga komunitas akademik. Keunggulan Python bukan hanya pada kemudahan penggunaannya, tetapi juga pada ekosistemnya yang telah matang dan didukung oleh kontribusi komunitas global.

Dalam ranah analisis data, Python menyediakan kumpulan pustaka (*libraries*) yang sangat lengkap dan terus berkembang. Library seperti pandas dan NumPy berperan sebagai fondasi dalam manipulasi data, memungkinkan pengguna untuk melakukan filtering, transformasi, dan agregasi data secara efisien. Untuk kebutuhan visualisasi[24], Python menyediakan *Matplotlib* dan *Seaborn*, yang dapat menghasilkan grafik dengan tingkat kustomisasi tinggi. Dalam konteks machine learning dan time series forecasting, Python memfasilitasi penggunaan berbagai algoritma modern melalui library seperti scikit-learn, statsmodels, dan Prophet. Keberadaan pustaka ini menjadikan Python platform yang sangat kuat untuk penelitian komputasional, terutama ketika data memiliki struktur kompleks seperti data finansial multi-dekade[24]. Python juga memiliki keunggulan dalam hal *reproducibility* dan *scalability*. Berkat ekosistem open-source, seluruh proses penelitian dapat direproduksi dengan mudah oleh peneliti lain, baik dengan menggunakan notebook interaktif seperti Google Colab dan Jupyter Notebook maupun pipeline otomatis pada lingkungan pengembangan profesional. Ketersediaan dokumentasi yang luas serta komunitas aktif di platform seperti

GitHub, Kaggle, dan Stack Overflow memberikan kemudahan dalam troubleshooting dan pengembangan proyek. Hal ini sangat relevan dalam penelitian akademik yang membutuhkan transparansi dan kemudahan replikasi hasil.

Dalam penelitian ini, Python dipilih karena mampu mendukung seluruh tahapan analisis data XAU/USD secara end-to-end. Python memungkinkan peneliti untuk membaca dataset historis harga emas, melakukan pembersihan data (cleaning), mengevaluasi tren jangka panjang, membangun model forecasting menggunakan Prophet, serta menghasilkan visualisasi yang informatif. Performa Python dalam memproses dataset skala besar seperti data historis emas sejak 1987 menjadi keunggulan tambahan. Dengan kombinasi intuitif antara workflow analitik dan integrasi pustaka Prophet yang mendalam, Python memastikan bahwa seluruh proses penelitian dapat dilakukan secara sistematis, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Secara keseluruhan, Python bukan hanya dipilih karena popularitasnya, tetapi karena kemampuannya menyediakan ekosistem lengkap yang mendukung seluruh kebutuhan penelitian forecasting berbasis time series[25]. Mulai dari preprocessing, modeling, evaluasi, hingga visualisasi, Python menawarkan platform yang stabil, teruji, dan kompatibel dengan metode modern seperti Prophet.

#### **2.4.2 Library Pendukung**

Dalam penelitian ini, beberapa pustaka (*library*) Python digunakan untuk mendukung proses pengolahan data, pemodelan, dan visualisasi. Pustaka-pustaka tersebut memiliki peran penting agar analisis dapat dilakukan secara lebih cepat, efisien, dan akurat. Adapun library yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### **1. Pandas**

pandas digunakan untuk membaca, membersihkan, dan mengelola data historis harga emas (XAU/USD). Library ini menyediakan struktur data berbasis *DataFrame* yang memudahkan proses manipulasi data, seperti filtering, grouping, agregasi, serta transformasi. Dengan pandas, data historis dari format CSV dapat diolah menjadi dataset yang siap digunakan untuk proses analisis lebih lanjut.

## 2. NumPy

NumPy adalah library komputasi numerik yang mendukung operasi matematika tingkat lanjut dengan efisiensi tinggi. Dalam penelitian ini, NumPy dimanfaatkan untuk melakukan perhitungan matematis dasar, pengolahan *array*, serta operasi numerik yang mendukung analisis time series.

## 3. Matplotlib

matplotlib digunakan untuk membuat visualisasi grafik, seperti tren harga emas, hasil prediksi Prophet, serta evaluasi model. Visualisasi ini memudahkan peneliti untuk memahami pola data serta menyajikan hasil penelitian dalam bentuk yang lebih intuitif.

## 4. Seaborn

library Python sumber terbuka yang beroperasi di atas Matplotlib, dirancang khusus untuk membuat visualisasi data statistik yang informatif dan menarik secara estetika. Library ini menyediakan antarmuka tingkat tinggi yang menyederhanakan pembuatan *plot kompleks*, seperti *heatmap*, *box plot*, dan *pair plot*, serta terintegrasi erat dengan struktur data Pandas untuk eksplorasi dan presentasi data yang efisien.

## 5. Prophet

Prophet adalah library utama yang digunakan dalam penelitian ini, dikembangkan oleh tim riset Facebook (Meta). Prophet berfungsi untuk membangun model forecasting deret waktu yang mampu mengakomodasi tren non-linear, pola musiman, outlier, serta menghasilkan prediksi harga emas (XAU/USD) di masa depan. Prophet dipilih karena fleksibilitasnya, kemudahan implementasi, serta akurasi yang tinggi dalam memproses data finansial yang volatil.