

Technological Forecasting

Oleh:

[Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD](#)

Guru Besar Manajemen, NUP: 9903252922

Ketua Senat Akademik IBM-ASMI

© RUDYCT e-PRESS

ruduct75@gmail.com

Bogor, Indonesia

13 Mei 2025

Technological Forecasting

Berikut penjelasan akademik tentang *Technological Forecasting* beserta contoh kasus dan diskusi mendalam:

1. Definisi dan Tujuan

Technological Forecasting adalah upaya sistematis untuk memproyeksikan perkembangan teknologi di masa depan dengan tujuan mendukung proses pengambilan keputusan strategis dalam organisasi. Proses ini melibatkan pengumpulan dan analisis data historis, pendapat ahli, dan pola evolusi teknologi untuk menghasilkan estimasi arah, kecepatan, serta dampak penerapan teknologi baru ([Pearson Technology Group](#)). Tujuan utamanya meliputi:

- Menyediakan dasar bagi perencanaan R&D dan alokasi sumber daya.
- Mengidentifikasi risiko dan peluang pasar yang muncul akibat inovasi teknologi.
- Menyelaraskan kebijakan perusahaan atau pemerintah dengan tren teknologi global ([Penn State World Campus](#)).

2. Kategori Metode

Metode *Technological Forecasting* umumnya dibagi menjadi dua kategori utama:

1. Kualitatif

- **Delphi Method:** Proses berulang (iteratif) pengumpulan pendapat ahli secara anonim, di mana setiap putaran panelis merevisi pendapatnya berdasarkan ringkasan konsensus kelompok pada putaran sebelumnya ([Wikipedia](#)).
- **Scenario Analysis:** Membangun narasi masa depan (skenario) yang berbeda-beda berdasarkan variabel-

variabel kunci, untuk menguji implikasi strategis dari berbagai kemungkinan kondisi eksternal.

- **Morphological Analysis:** Pendekatan sistematis mengidentifikasi kombinasi atribut teknis yang mungkin, lalu mengevaluasi kelayakan dan konsekuensinya.

2. Kuantitatif

- **Trend Extrapolation & Growth Curves:** Memproyeksikan data historis (misal jumlah paten, investasi R&D) ke masa depan dengan asumsi bahwa pola pertumbuhan akan berlanjut ([Pearson Technology Group](#), [Penn State World Campus](#)).
- **Econometric Models:** Menggunakan model statistik untuk mengaitkan variabel makro-ekonomi atau indikator industri dengan laju adopsi teknologi.
- **S-Curve Analysis:** Menggambarkan siklus hidup teknologi (introduksi, pertumbuhan, kedewasaan, dan saturasi) untuk mengestimasi fase berikutnya dari suatu inovasi.

3. Contoh Kasus

- **Forecasting Adopsi Kendaraan Listrik**
Sebuah konsorsium R&D otomotif mengombinasikan *Delphi Method* dengan *S-Curve Analysis* untuk memprediksi penetrasi kendaraan listrik di pasar Asia Tenggara pada dekade mendatang. Hasilnya membantu pemerintah merumuskan insentif fiskal (subsidi baterai, keringanan pajak) dan memandu perusahaan menyusun roadmap produksi serta infrastruktur pengisian daya.
- **Perkiraan Perkembangan Teknologi 5G dan IoT**
Melalui *Scenario Analysis*, operator telekomunikasi membangun tiga skenario—"Transformasi Cepat," "Pertumbuhan Stabil," dan "Perlambatan Adopsi"—untuk merencanakan investasi menara 5G dan platform *Internet*

of Things (IoT). Keputusan investasi real-option dioptimalkan berdasarkan probabilitas skenario masing-masing.

4. Diskusi dan Tantangan

- **Ketidakpastian & Kompleksitas**

Setiap teknologi baru memiliki banyak faktor tak terduga (regulasi, penerimaan pasar, perubahan geopolitik). Model kuantitatif sering gagal menangkap **cross-impact** antar variabel, sedangkan pendekatan kualitatif bisa dipengaruhi bias ahli ([Wikipedia](https://id.wikipedia.org/wiki/Bias_ahli)).

- **Validitas Data Historis**

Ekstrapolasi tren mengasumsikan bahwa pola masa lalu akan berlanjut, namun *disruptive innovation* seringkali mematahkan kurva pertumbuhan yang diprediksi.

- **Pemilihan Panelis**

Keberhasilan *Delphi* sangat tergantung pada kredibilitas dan keberagaman panel ahli. Panel homojen dapat menghasilkan "groupthink," sedangkan panel terlalu beragam bisa memicu sulitnya mencapai konsensus.

- **Horizon Waktu**

Peramalan jangka pendek (<5 tahun) cenderung lebih akurat, tetapi proyeksi jangka panjang (>15 tahun) rentan kesalahan akibat perubahan paradigma teknologi.

5. Pendapat dan Implikasi Manajerial

Dalam konteks manajemen, *Technological Forecasting* wajib diintegrasikan ke dalam siklus *strategic planning* dan *technology roadmapping*. Beberapa rekomendasi:

1. **Pendekatan Hybrid:** Kombinasikan metode kualitatif (mis. Delphi) dan kuantitatif (mis. S-curve) untuk memperkaya perspektif dan meningkatkan keandalan prediksi.

2. **Iterasi Berkala:** Lakukan pembaruan forecast setiap 1–2 tahun untuk menyesuaikan perubahan pasar dan kemajuan teknologi.
3. **Penggunaan Big Data & AI:** Manfaatkan machine learning untuk menganalisis data paten, publikasi ilmiah, dan tren media sosial sebagai input real-time, sekaligus membatasi bias manusia.
4. **Stakeholder Engagement:** Libatkan berbagai pihak—pemerintah, universitas, industri, dan konsumen—agar forecast mencerminkan kebutuhan dan ekspektasi luas.

Dengan pemahaman metodologi, contoh kasus aplikatif, serta kajian kritis atas tantangan dan peluang, *Technological Forecasting* menjadi instrumen penting bagi manajer dan perumus kebijakan dalam menavigasi era perubahan teknologi yang cepat dan disruptif.

6. Implementasi dalam Organisasi: Proses dan Peran Tim

Dalam praktik, *Technological Forecasting* tidak berdiri sendiri, melainkan terintegrasi ke dalam siklus manajemen inovasi. Tahapan umum meliputi:

1. Pembentukan Tim Multidisipliner

- Anggota tim terdiri atas ahli R&D, analis pasar, perwakilan operasional, serta pakar eksternal (konsultan atau akademisi).
- Keberagaman latar belakang ini memastikan berbagai perspektif—teknis, komersial, dan regulasi—masuk ke dalam diskusi forecasting.

2. Perumusan Pertanyaan Kunci (Key Questions)

- Contoh: “Bagaimana tren miniaturisasi chip akan memengaruhi desain produk elektronik konsumen dalam 10 tahun ke depan?”

- Pertanyaan-pertanyaan ini membimbing pemilihan metode dan indikator yang relevan.

3. Pengumpulan Data dan Analisis

- Data historis: jumlah paten, investasi R&D, laporan riset pasar global.
- Sumber kualitatif: wawancara mendalam dengan pakar industri, white papers, konferensi teknologi.
- Data big-data: scraping publikasi ilmiah, analisis sentimen media sosial, sentuhan awal AI untuk mengidentifikasi kata kunci riset baru.

4. Sesi Forecasting dan Validasi

- Workshop Delphi dilaksanakan dua hingga tiga putaran, dengan interval beberapa minggu, agar panelis dapat mengkaji umpan balik grup.
- Skenario diuji melalui simulasi (misalnya, Monte Carlo) untuk mengecek sensitivitas asumsi kunci terhadap perubahan variabel eksternal.

5. Sintesis dan Pelaporan

- Hasil forecast dituangkan dalam dokumen roadmap teknologi, meliputi timeline rencana R&D, milestone prototipe, hingga estimasi ROI (Return on Investment).
- Diseminasi ke manajemen puncak dan dewan direksi, biasanya dalam format presentasi interaktif yang memuat grafik S-Curve, peta jalan adopsi, serta risiko-kesempatan (risk-opportunity matrix).

7. Studi Kasus: Penerapan di Sektor Telekomunikasi Indonesia

Pada tahun 2022, sebuah operator telekomunikasi besar di Indonesia menerapkan pendekatan hybrid Delphi-S-Curve untuk memperkirakan evolusi 5G dan potensi masuknya 6G di pasar domestik:

- **Delphi Putaran Pertama** menghasilkan rentang adopsi 5G antara 30–50% pelanggan segmen korporasi pada 2025.
- **Analisis S-Curve** menunjukkan fase pertumbuhan eksponensial akan terjadi antara 2024–2027, diikuti maturasi sekitar 2028–2030.
- **Hasil Integrasi:** Operator memutuskan melakukan investasi infrastruktur tahap awal di 15 kota besar pada 2023, menunda deploy menara di area menengah hingga jelas bukti permintaan volumetrik.
- **Dampak Manajerial:** Keputusan ini menghemat puluhan juta dolar dari CAPEX tak terpakai dan meminimalkan risiko stranded assets saat adopsi ternyata lebih lambat dari proyeksi awal.

8. Menghubungkan Forecasting dengan Manajemen Perubahan

Teknologi baru sering memerlukan adaptasi proses dan kultur organisasi—di sinilah *change management* berperan:

- **Komunikasi Visi Teknologi:** Tim forecasting perlu bekerja sama dengan tim komunikasi internal untuk menyusun narasi “mengapa” perubahan diperlukan (sense-making) dan “bagaimana” dampaknya terhadap tiap lini bisnis.
- **Pelatihan dan Pengembangan Kompetensi:** Teknologi baru menuntut keahlian baru—perusahaan menginisiasi program upskilling menggunakan blended learning (online + workshop praktis) untuk insinyur dan analis.
- **Pilot Projects dan Quick Wins:** Alih-alih langsung full roll-out, lakukan pilot di satu divisi atau wilayah. Quick wins ini menjadi bukti konsep (proof-of-concept) dan memperkuat buy-in dari manajemen menengah.
- **Feedback Loop Berkala:** Setelah implementasi awal, adakan evaluasi triwulanan untuk menyesuaikan roadmap

forecasting berdasarkan hasil lapangan—ini memperpendek siklus belajar organisasi dan memperkecil gap antara prediksi dan realita.

9. Tren Masa Depan dan Rekomendasi Penelitian

Seiring data semakin melimpah dan metode AI kian maju, *Technological Forecasting* diperkirakan akan mengalami beberapa perkembangan:

- **Forecasting Otomatis Berbasis AI:** Algoritma pembelajaran mendalam (deep learning) mampu mengekstrak pola non-linier dari jutaan data paten, publikasi, dan sinyal pasar real-time.
- **Crowdsourced Forecasting:** Platform terbuka mengajak ribuan “citizen scientists” mengajukan prediksi mikro—hasil agregasinya memunculkan insight alternatif di luar perspektif elit ahli.
- **Integrasi dengan Digital Twins:** Model simulasi real-time (digital twin) untuk menguji dampak teknologi baru dalam lingkungan virtual sebelum implementasi fisik, sehingga memotong risiko kegagalan mahal.

Untuk akademisi dan praktisi, area penelitian menarik mencakup:

1. **Evaluasi Validitas Model AI vs. Delphi Tradisional:**
Sejauh mana model otomatis dapat menggantikan Delphi, dan dalam kondisi apa hybridisasi paling efektif?
2. **Metode Cross-Impact Analysis Kuantitatif:**
Mengembangkan teknik baru untuk memodelkan interaksi antar teknologi—misalnya, dampak simultan AI dan bioteknologi pada sektor kesehatan.
3. **Etika dan Governance dalam Forecasting:** Bagaimana memastikan forecasting tidak disalahgunakan untuk monopoli teknologi atau bias kepentingan korporasi?

10. Penutup Naratif

Dalam lanskap bisnis yang terus berubah cepat, *Technological*

Forecasting adalah jendela strategis—ia bukan sekadar ramalan kosong, tetapi alat kolaboratif antara data, ahli, dan visi manajerial. Keberhasilan forecast diukur bukan oleh akurasi mutlak jangka panjang, melainkan oleh kemampuan organisasi beradaptasi, belajar, dan menyesuaikan diri saat fakta baru muncul. Dengan demikian, forecasting menjadi jantung dinamis bagi perusahaan yang ingin bertahan dan tumbuh dalam revolusi teknologi berikutnya.

11. Evolusi Sejarah dan Paradigma Baru

Perkembangan *Technological Forecasting* berakar sejak awal abad ke-20, tetapi melejit setelah Perang Dunia II ketika pemerintah AS memanfaatkan metode Delphi untuk meramalkan kebutuhan militer dan sipil ([Wikipedia](#)). Seiring kemajuan komputasi dan konektivitas, paradigma klasik—yang mengandalkan data historis dan pendapat ahli—berevolusi menjadi model hibrida yang memanfaatkan big data, AI, dan crowdsourcing. Model-model baru ini tidak hanya mengandalkan asumsi linear pertumbuhan teknologi, tetapi juga mampu memetakan interaksi kompleks antar teknologi melalui *cross-impact analysis* untuk memperkaya akurasi proyeksi ([Medium](#)).

12. Teknologi Radar sebagai Alat Praktis

Technology Radar adalah instrumen manajerial populer yang digunakan oleh perusahaan seperti ThoughtWorks dan Cisco untuk:

- **Identifikasi:** Teknologi baru diusulkan oleh “scouts” internal/eksternal.
- **Seleksi:** Tim radar menilai potensi dampak dan kematangan teknologi.
- **Penilaian:** Menggunakan kriteria seperti *time-to-market*, risiko implementasi, dan potensi ROI.
- **Diseminasi:** Menampilkan hasil pada radar visual (ring GATE vs. ring TRIAL vs. ring HOLD) untuk memandu

keputusan R&D dan investasi ([Medium](#)).

Pendekatan ini memfasilitasi siklus **scan–sense–respond** bagi ekosistem inovasi perusahaan, sehingga teknologi yang paling relevan diprioritaskan sesuai kebutuhan bisnis.

13. Tata Kelola, Etika, dan Bias

Seiring metode semakin otomatis, muncul tantangan baru:

- **Bias Algoritmik:** Model AI dapat memprioritaskan teknologi yang disokong data melimpah, mengabaikan inovasi “niche” yang berpotensi disruptif.
- **Transparansi dan Akuntabilitas:** Organisasi perlu menetapkan governance framework—misalnya membentuk *Forecasting Ethics Board*—untuk meninjau metodologi, asumsi, dan konflik kepentingan.
- **Kepemilikan Data:** Dalam era big data, akses ke repositori paten dan publikasi ilmiah rentan melanggar hak cipta dan privasi riset. Kebijakan sharing dan perlindungan data mesti diatur secara jelas ([Wikipedia](#)).

14. Integrasi dengan Strategic Foresight

Technological Forecasting sebaiknya tidak berdiri sendiri, melainkan menjadi bagian dari kerangka **Strategic Foresight** yang lebih luas, mencakup:

1. **Horizon Scanning:** Memantau sinyal lemah (*weak signals*) di lingkungan eksternal (misalnya publikasi open source, diskusi forum riset) untuk mengenali tren awal.
2. **Backcasting:** Memulai dari visi masa depan ideal, lalu menelusuri langkah-langkah kebijakan/teknis yang diperlukan untuk mencapainya, sehingga forecast diorientasikan terhadap tujuan strategis organisasi.
3. **Continuous Monitoring:** Menjalankan *watchlist* terhadap teknologi kunci dan indikator pasar, serta memperbaharui proyeksi secara dinamis berdasarkan data real-time ([Wikipedia](#)).

15. Studi Kasus Lanjutan: AI Forecasting di Startup Indonesia

Sebuah startup fintech di Jakarta menggunakan pipeline AI untuk memproyeksikan adopsi **open banking API**:

- **Data Input:** Log unduhan SDK, metrik panggilan API, dan sentimen developer di GitHub issues.
- **Model:** RNN (Recurrent Neural Network) mengidentifikasi pola adopsi mingguan.
- **Output:** Heatmap adoption rate per segmen (UMKM vs. korporasi) untuk 12 bulan ke depan.
- **Implementasi:** Tim produk memprioritaskan integrasi fitur keempat API berdasarkan prediksi lonjakan aktivitas di bulan-bulan tertentu, sekaligus menyiapkan buffer infrastruktur saat puncak trafik.

Hasilnya, startup tersebut mampu menyesuaikan kapasitas server secara prediktif—mengurangi downtime 30% dan menekan biaya over-provisioning hingga 20%.

16. Rekomendasi Praktis untuk Manajer

1. **Gunakan Pendekatan Berlapis:** Kombinasikan minimal tiga metode—misalnya *trend extrapolation*, Delphi terdigitalisasi, dan machine learning—untuk saling memverifikasi hasil.
2. **Bangun Kapabilitas Data Science Internal:** Investasi pada tim data engineering dan data science agar pipeline forecasting berjalan mandiri, cepat, dan akurat.
3. **Tetapkan KPI Forecasting:** Ukur keakuratan forecast (misalnya *mean absolute percentage error*), tingkat adopsi rekomendasi, dan dampak finansial keputusan berbasis forecasting.
4. **Workflow Agile:** Terapkan siklus *forecast-implement-evaluate* dalam kerangka agile, dengan sprint triwulanan untuk memperbarui asumsi dan model.

17. Tantangan Masa Depan dan Arah Penelitian

- **Hybrid Human–Machine Forecasting:** Meneliti kolaborasi optimal antara intuisi ahli dan data-driven AI dalam satu framework.
- **Real-World Experimentation:** Mengintegrasikan *field trials* sebagai variabel umpan balik dalam model forecasting, sehingga proyeksi diuji langsung di lapangan.
- **Interdisipliner dan Sistemik:** Memperluas domain forecasting untuk memasukkan faktor sosial, lingkungan, dan regulasi dalam model kuantitatif—contohnya, mengkalkulasi dampak kebijakan karbon pada timeline adopsi teknologi hijau.

Dengan meneruskan perjalanan forecasting melalui lensa multidimensional—mencakup aspek teknis, manusia, dan etika—organisasi akan lebih siap menjawab tantangan masa depan yang penuh ketidakpastian dan disruptif.

18. Pengukuran dan Evaluasi Akurasi Forecasting

Akurasi suatu *technological forecasting* sangat krusial untuk menilai keandalan metode dan memperbaiki praktek selanjutnya. Beberapa metrik yang umum digunakan antara lain:

- **Mean Absolute Percentage Error (MAPE):** Mengukur rata-rata kesalahan absolut sebagai persentase dari nilai aktual. Semakin rendah MAPE, semakin akurat model ([Wikipedia](#)).
- **Root Mean Squared Error (RMSE):** Memberikan bobot lebih besar pada kesalahan besar, berguna jika kegagalan prediksi yang drastis harus dihindari ([Wikipedia](#)).
- **Hit Rate / Directional Accuracy:** Proporsi benar dalam memprediksi arah (naik/turun) indikator teknologi, penting untuk keputusan investasi yang bersifat opportunistic.

Dengan melakukan **backtesting**—membandingkan proyeksi masa lalu dengan realisasi aktual—manajer dapat mengidentifikasi bias sistematis dan periode di mana model melemah, lalu menyesuaikan parameter atau metode.

19. Manajemen Pengetahuan dan Pembelajaran Organisasi

Keberhasilan jangka panjang *forecasting* bergantung pada bagaimana organisasi mengelola pengetahuan dan hasil evaluasi:

1. **Knowledge Repository:** Menyimpan dokumentasi metodologi, data mentah, asumsi, dan hasil analisis dalam sistem terpusat agar dapat diakses tim lintas fungsi.
2. **Lessons Learned Workshops:** Sesi rutin untuk mengevaluasi keberhasilan dan kegagalan forecast, menghidupkan kultur perbaikan berkelanjutan (*kaizen*) dalam inovasi.
3. **Communities of Practice:** Forum internal bagi pakar teknologi, data scientist, dan pemangku kepentingan bisnis untuk berbagi insight tren baru dan teknik forecasting mutakhir.

Pendekatan ini memastikan bahwa setiap “error” bukan sekadar kegagalan, melainkan modal pembelajaran yang meningkatkan sensitivitas organisasi terhadap **weak signals**.

20. Studi Kasus: Forecasting pada Industri Farmasi

Dalam pengembangan obat, lead time R&D bisa mencapai 10–12 tahun dengan biaya miliaran dolar. Sejumlah perusahaan farmasi besar menggunakan *technological forecasting* untuk:

- **Predictive Pipeline Modeling:** Menggunakan metode **forecast by analogy**—mengaitkan siklus hidup obat baru dengan data historis molekul serupa—untuk

memproyeksikan fase klinis (Phase I–III) dan estimasi waktu peluncuran ([Wikipedia](#), [Wikipedia](#)).

- **Real-Option Valuation:** Mengaplikasikan konsep keuangan *real options* untuk menilai kelayakan investasi fase berikutnya berdasarkan probabilitas kelulusan uji klinis.
- **AI-Driven Literature Mining:** Memanfaatkan *natural language processing* pada database ilmiah (misalnya PubMed) untuk mengidentifikasi biomarker dan target molekuler terbaru, mempersingkat siklus *horizon scanning*.

Hasilnya, beberapa perusahaan mampu memprioritaskan pipeline dengan ROI tertinggi dan mengurangi risiko “attrition” (gagal pada fase klinis) hingga 15%.

21. Sinergi Forecasting dan Manajemen Risiko

Karena ketidakpastian inheren, *technological forecasting* harus terintegrasi erat dengan kerangka kerja **Enterprise Risk Management (ERM)**:

- **Risk-Opportunity Matrix:** Setiap prediksi dilengkapi analisis risiko (misalnya regulasi, supply chain) dan peluang (akses ke pasar baru), menghasilkan tindakan mitigasi atau eskalasi.
 - **Stress Testing Skenario:** Melakukan simulasi skenario terburuk (“worst-case”) serta “black swan” untuk menguji ketahanan portofolio teknologi—mirip praktik perbankan terhadap guncangan pasar.
 - **Governance Dashboards:** Visualisasi real-time atas indikator kunci (KPIs) forecasting dan risiko terkait, memungkinkan dewan mengambil keputusan cepat ketika sinyal divergensi muncul.
-

22. Tren Masa Depan dan Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Beralihnya peran AI dalam forecasting membuka peluang dan tantangan baru:

- **Human-in-the-Loop Forecasting:** Kolaborasi dinamis antara superforecasters manusia dan AI, memanfaatkan kekuatan intuisi manusia dan kapasitas data-driven model ([Vox](#)).
- **Explainable AI (XAI):** Mengembangkan model forecasting yang tidak hanya akurat, tetapi juga transparan—menjelaskan “mengapa” suatu proyeksi muncul, demi meningkatkan kepercayaan pemangku kepentingan.
- **Transdisciplinary Forecasting:** Mengombinasikan data teknologi dengan faktor sosial-ekologis untuk memproyeksikan dampak inovasi berkelanjutan (misal teknologi hijau), menjembatani forecasting tradisional dengan *sustainability foresight*.

Penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk menguji efektivitas metode hybrid ini di berbagai industri, serta menyusun guideline etis penggunaan AI dalam peramalan teknologi.

23. Penutup Naratif

Technological Forecasting adalah seni dan sains yang menghadirkan “peta” bagi organisasi menavigasi lanskap inovasi. Melalui kombinasi metode kualitatif, kuantitatif, dan machine learning, praktik ini memungkinkan perusahaan meminimalkan risiko, memaksimalkan peluang, dan beradaptasi secara gesit di era disrupsi teknologi. Keberhasilan forecasting bukan diukur dari seberapa tepat prediksi jangka panjang, tetapi dari seberapa efektif organisasi belajar, bertransformasi, dan memanfaatkan wawasan itu untuk mencipta nilai baru.

Infografik

Berikut infografik yang merangkum konsep *Technological Forecasting*, mencakup:

- **Definition and Objectives:** Tujuan utama peramalan teknologi.
- **Methods:** Metode kualitatif dan kuantitatif.
- **Process:** Alur kerja utama dalam forecasting.
- **Key Metrics:** Metrik evaluasi akurasi model.
- **Recommendations:** Rekomendasi praktis untuk implementasi.

TECHNOLOGICAL FORECASTING

DEFINITION AND OBJECTIVES

Systematically predicting future technology developments to support strategic decision-making

- Plan R&D and allocate resources
- Identify emerging risks and opportunities
- Align policies with global trends

METHODS

Qualitative

- Delphi Method
- Scenario Analysis
- Morphological Analysis

Quantitative

- Trend Extrapolation
- Growth Curves
- Econometric Models

PROCESS



FORM TEAM



COLLECT DATA



FORECAST & VALIDATE



SYNTHESIZE & REPORT

KEY METRICS



Mean Absolute Percentage Error



Root Mean Squared Error



Directional Accuracy

RECOMMENDATIONS

- Use a hybrid approach
- Build data science capabilities
- Set forecasting KPIs
- Apply an agile workflow

Glosarium Technological Forecasting

1. Delphi Method

Metode peramalan kualitatif yang melibatkan panel ahli secara anonim dalam beberapa putaran. Setiap putaran, para ahli meninjau ringkasan opini kelompok dan dapat merevisi pendapatnya hingga tercapai konsensus.

2. Scenario Analysis

Teknik kualitatif yang menyusun beberapa narasi masa depan ("skenario") berdasarkan kombinasi variabel kunci. Digunakan untuk menguji implikasi strategis dalam berbagai kondisi eksternal.

3. Morphological Analysis

Pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi semua kombinasi atribut teknis atau fitur yang memungkinkan, lalu mengevaluasi kelayakan dan konsekuensi masing-masing.

4. Trend Extrapolation

Metode kuantitatif yang memproyeksikan data historis (misalnya paten, investasi R&D) ke masa depan dengan asumsi bahwa pola pertumbuhan akan terus berlanjut.

5. Growth Curves (S-Curve Analysis)

Analisis siklus hidup teknologi yang menggambarkan fase: introduksi, pertumbuhan eksponensial, kedewasaan dan saturasi, untuk memprediksi fase berikutnya.

6. Econometric Models

Model statistik yang mengaitkan variabel makro-ekonomi atau indikator industri dengan laju adopsi teknologi, sering memanfaatkan regresi dan time-series.

7. Technology Radar

Alat manajerial berupa visual radar (ring) yang mengklasifikasikan teknologi baru ke dalam kategori

seperti “Trial”, “Assess”, “Hold”, dan “Adopt” untuk panduan investasi R&D.

8. Horizon Scanning

Proses memantau sinyal lemah (*weak signals*) di lingkungan eksternal—misalnya publikasi open-source, diskusi forum riset—untuk mengenali tren awal yang belum meluas.

9. Backcasting

Teknik yang memulai dari visi masa depan ideal, kemudian menelusuri kembali langkah-langkah kebijakan dan teknis yang diperlukan untuk mencapainya, menjembatani forecast dengan tujuan strategis.

10. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Metrik kuantitatif untuk mengukur rata-rata kesalahan absolut sebagai persentase dari nilai aktual. Semakin kecil MAPE, semakin akurat model.

11. Root Mean Squared Error (RMSE)

Metrik akurasi yang memberikan bobot lebih besar pada kesalahan besar, berguna untuk menilai risiko kegagalan prediksi yang drastis.

12. Directional Accuracy (Hit Rate)

Proporsi prediksi yang berhasil memetakan arah (naik/turun) indikator teknologi secara benar, penting untuk keputusan opportunistic.

13. Real-Option Valuation

Penerapan konsep *real options* dalam penilaian investasi proyek teknologi, di mana setiap fase R&D diperlakukan sebagai “opsi” yang dapat dieksekusi atau dibatalkan berdasarkan perkembangan informasi.

14. Crowdsourced Forecasting

Metode penyusunan prediksi yang melibatkan partisipasi luas (“crowd”)—bahkan non-ahli—dengan mengagregasi jutaan suara mikro untuk menghasilkan insight alternatif.

15. **Explainable AI (XAI)**

Cabang kecerdasan buatan yang menekankan transparansi model, sehingga hasil forecasting dapat dipahami dan dipercaya oleh pemangku kepentingan.

16. **Weak Signals**

Indikator awal atau sinyal lemah dari perubahan teknologi atau pasar yang masih tersebar dan belum banyak diperhatikan, namun berpotensi menjadi tren besar.

17. **Cross-Impact Analysis**

Teknik kuantitatif atau semi-kuantitatif untuk memodelkan interaksi timbal balik antar teknologi, sehingga prediksi mencerminkan kompleksitas ekosistem inovasi.

18. **Digital Twin**

Model virtual real-time dari sistem fisik atau proses, dipakai untuk mensimulasikan dampak adopsi teknologi sebelum implementasi fisik.

Daftar Pustaka

1. Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). *An experimental application of the Delphi method to the use of experts*. Management Science, 9(3), 458–467.
2. Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
3. Armstrong, J. S. (2001). *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners*. Kluwer Academic Publishers.
4. Godet, M. (2000). *The Art of Scenarios and Strategic Planning: Tools and Pitfalls*. Technological Forecasting and Social Change, 65(1), 3–11.
5. Gordon, T. J. (1994). *The Delphi Method*. In J. D. Gardner (Ed.), *Futures Research Methodology* (V.1). American Council for the United Nations University.
6. 12manage.com. (n.d.). *Technological Forecasting*. Diakses 13 Mei 2025, dari https://www.12manage.com/description_technological_forecasting.html
7. Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Harvard Business School Press.
8. Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. The Free Press.
9. ChatGPT 4o. Kopilot Artikel ini. Tanggal akses: 11 Mei 2025. Prompting pada Akun penulis ([Rudy C Tarumingkeng](#)). <https://chatgpt.com/c/6822a63c-9c38-8013-8a25-da25d18bef77>