

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prediksi Daya Listrik

Pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) menghadapi tantangan terus menerus pada dibidang energi, lingkungan dan iklim. Dalam satu sisi transformasi energi membantu optimalisasi struktur sumber energi yang secara cepat meningkatkan konsumsi energi Dalam refleksinya daya yang dihasilkan oleh PLTGU sebanding dengan polusi yang dihasilkan. Akibatnya, prediksi yang tepat dapat secara efektif dalam perencanaan produksi energi di masa yang akan datang. peramalan memiliki kemampuan untuk memenuhi berbagai tujuan perencanaan dan membantu Enginner dalam memenuhi semua kondisi penting dalam jangka pendek, menengah, dan panjang. Sehubungan dengan jendela waktu yang akan datang untuk tugas peramalan, ini dapat dikategorikan ke dalam empat kategori berbeda [8]:

- a) Jangka Panjang (Long Term): Biasanya 1 hingga 10 tahun digunakan untuk menentukan perencanaan dan investasi generasi besar karena persyaratan proyek yang sulit dan proses desain, pembiayaan, dan pembangunan proyek. Pembangkit listrik besar mungkin membutuhkan waktu sepuluh tahun untuk tersedia.
- b) Jangka Menengah (Medium Term): Biasanya berlangsung selama beberapa bulan hingga tahun, digunakan untuk menjamin keamanan dan keterbatasan kapasitas terpenuhi dalam jangka menengah.

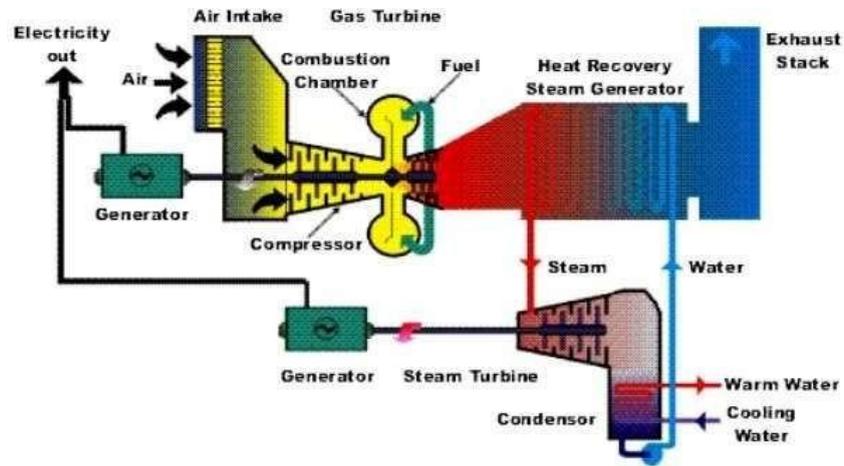
- c) Jangka pendek (Short Term) digunakan untuk pelaku pasar dan perencanaan.
- d) Sangat Pendek (Very Short Term) jam dan menit mendatang, digunakan untuk promosi dan pengaturan pengiriman.

Model prediktif yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan jaringan Memori Pendek Panjang (LSTM), teknik belajar mendalam yang sangat baik untuk menganalisis data set waktu yang kompleks dan tidak stabil. Keunggulan LSTM terletak pada kemampuannya untuk menangkap pola jangka panjang dalam data set waktu, mengatasi masalah yang dihadapi oleh model jaringan saraf yang lebih sederhana. Teknik ini, bagaimanapun, penuh dengan kompleksitas; memerlukan data yang besar dan rentan terhadap overfitting, suatu kondisi di mana model terlalu beradaptasi dengan data pelatihan, menghambat kemampuannya untuk generalisasi pada data yang belum pernah dilihat sebelumnya.

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

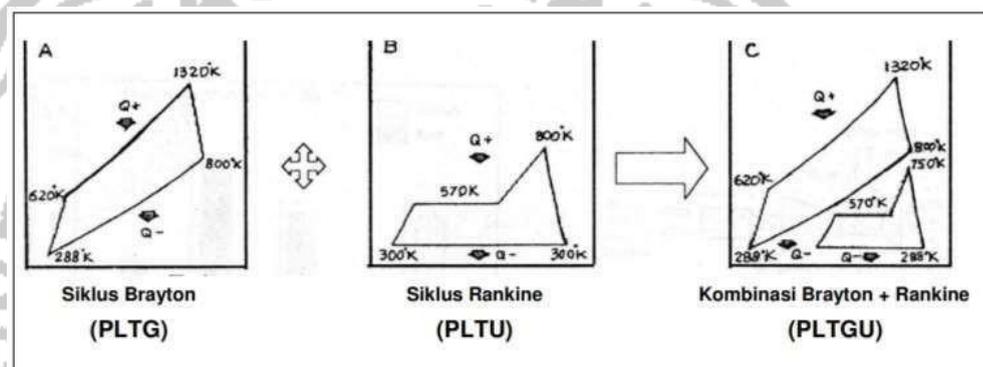
2.2.1 Definisi PLTGU

Di bidang industri, ada upaya untuk menggabungkan siklus turbin gas dengan siklus proses yang disebut "*cogeneration*". Di sisi lain, untuk meningkatkan efisiensi termal turbin gas sebagai unit pembangkit listrik (PLTG) siklus PLTG digabungkan dengan siklus PLTU yang disebut "siklus gabungan" atau pembangkit listrik gabungan.:



Gambar 2. 1 Siklus Combined Cycle

Sumber : Firdaus, fachnur



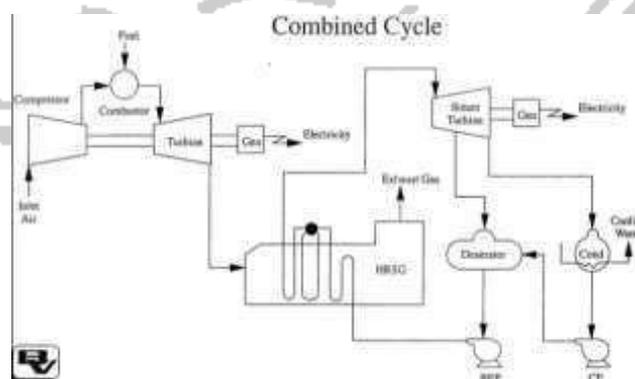
Gambar 2. 2 Siklus Brayton, Siklus Rankine dan Siklus Combined Cycle

Sumber : Firdaus, fachnur

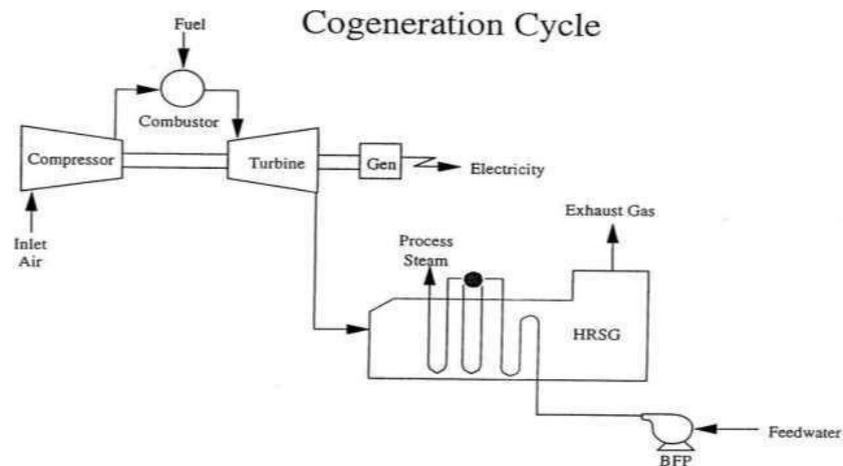
Boiler atau "Generator Pemulihan Panas" (HRSG), adalah bagian alat pemindah panas yang digunakan untuk menggabungkan siklus turbin gas dengan siklus turbin uap. Selain meningkatkan efisiensi termal, siklus kombinasi ini akan mengurangi efek pencemaran udara. Menggabungkan unit pembangkit siklus kombinasi (PLTGU) dengan siklus tunggal PLTG dapat menghasilkan sejumlah keuntungan, di antaranya adalah:

- Dengan efisiensi termal yang tinggi, biaya operasi (Rp/kWh) lebih rendah daripada pembangkit thermal lainnya.
- Biaya pemakaian bahan bakar (konsumsi energi) lebih rendah
- Pembangunannya relatif cepat.
- Kapasitas dayanya bervariasi dari kecil hingga besar.
- Menggunakan bahan bakar gas yang bersih dan ramah lingkungan
- Tempat yang diperlukan tidak terlalu luas, sehingga biaya investasi lahan lebih sedikit.
- Pengoperasian PLTGU yang menggunakan komputerisasi memudahkan pengoperasian.
- Waktu yang dibutuhkan untuk membangkitkan beban maksimum 1 blok PLTGU relatif singkat yaitu 150 menit.
- Prosedur pemeliharaan lebih mudah dilaksanakan dengan adanya fasilitas sistem diagnosa.

Skema siklus PLTGU dapat dilihat pada gambar di bawah ini :

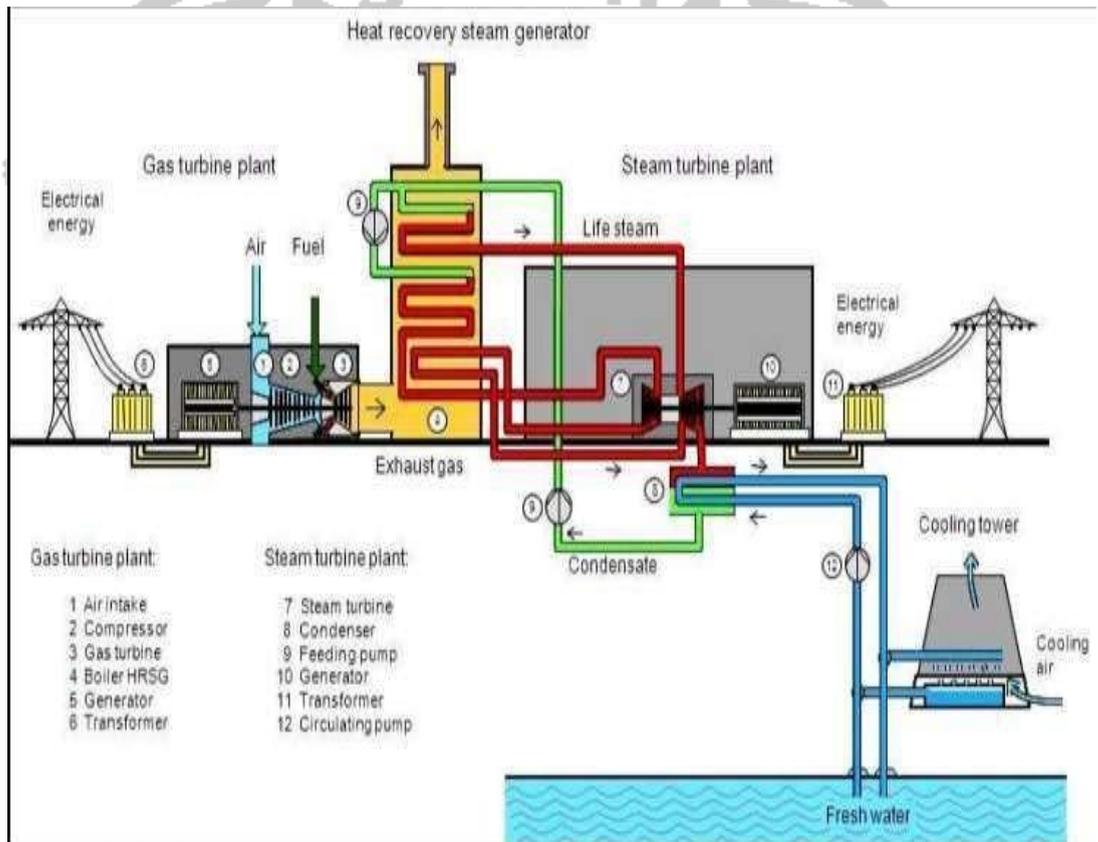


Gambar 2 . 3 Diagram Combined Cycle



Gambar 2.4 Diagram Cogeneration Cycle

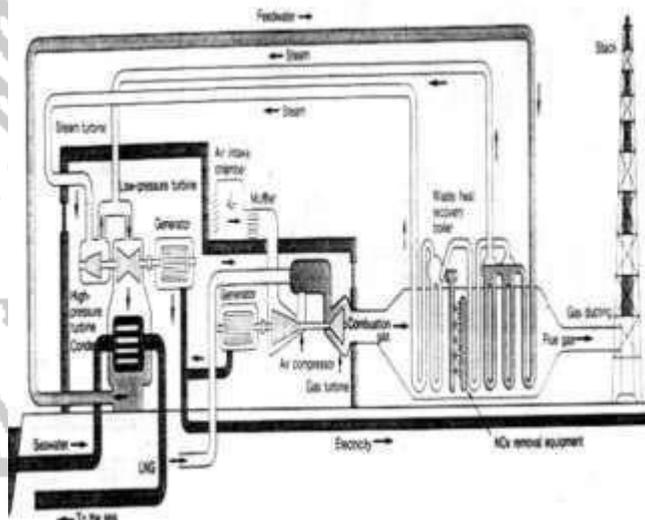
Sumber: Firdaus, fachnur



Gambar 2.5 Combined Cycle pada Power Plant PLTGU

2.2.2 Prinsip Kerja

Di dalam sistem turbin gas panas yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar digunakan untuk memutar turbin gas yang menghasilkan energi mekanik yang akan digunakan untuk memutar generator gas buang dari turbin gas yang mengandung energi panas tinggi, dialirkan ke HRSG untuk memanaskan air, menghasilkan uap, kemudian dibuang ke atmosfer dengan suhu yang jauh lebih rendah. Uap yang berasal dari HRSG dengan tekanan dan suhu tertentu diatur untuk memutar turbin uap yang dikopel dengan generator, yang menghasilkan energi listrik. Kondensator mendinginkan uap yang keluar dari turbin uap menjadi air kembali.



Gambar 2 . 6 Siklus air uap pada PLTGU

Air kondensat ini kemudian dipompakan sebagai air ke pengisi HRSG, dan kemudian akan dipanaskan lagi untuk menghasilkan uap.

2.2.3 Bagian – Bagian PLTGU

Siklus kombinasi PLTGU memiliki komponen utama terdiri dari :

2.2.3.1 Turbin Gas

Turbin gas biasanya berupa kumpulan unit PLTGU dapat berdiri sendiri atau digabungkan untuk siklus kombinasi.

a) Kompresor Utama (Main Compressor)

Sebelum masuk ke ruang bakar, kompresor utama menaikkan tekanan dan temperatur udara. Udara juga digunakan untuk perapat pelumas bantalan, udara pendingin sudu (baling-baling) dan ruang bakar, udara pengabut bahan bakar, dan udara pembakaran.

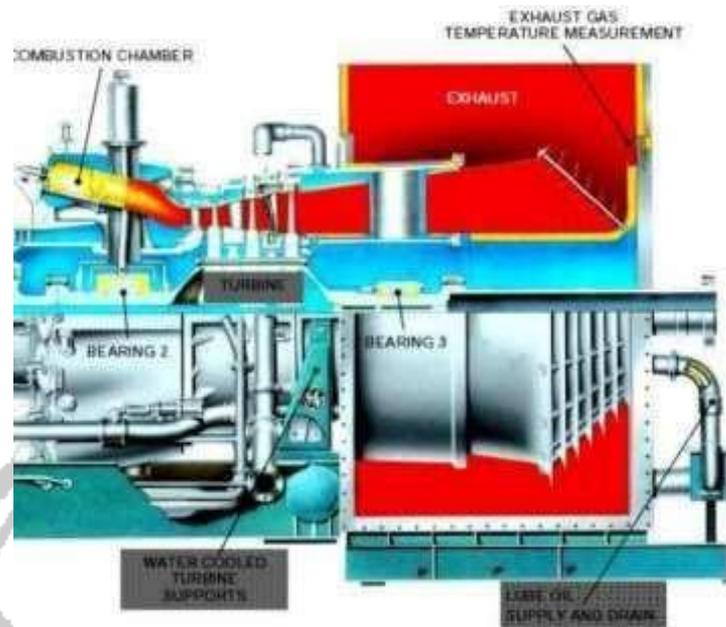


Gambar 2.7 Kompresor Utama

Sumber : Firdaus, fachnur

b) Ruang Bakar (Combustion Chamber)

Tempat terjadinya di mana proses pembakaran terjadi disebut ruang bakar. Selama proses pembakaran, energi



Gambar 2 . 8 Combustion Chamber dan Gas Turbin

thermal dihasilkan dari energi kimia bahan bakar. Turbin gas biasanya memiliki ruang pembakaran dengan satu atau dua ruang pembakaran yang terpisah dari casing turbin, tetapi yang paling umum adalah ruang pembakaran dengan beberapa buah kotak pembakaran yang mengelilingi sisi masuk (inlet) turbin. Sebagai contoh, PLTG di PLTGU Gresik memiliki satu ruangan pembakaran yang mengandung 18 buah ruangan pembakaran, sedangkan PLTG Bali memiliki ruangan pembakaran yang mengandung 8 buah ruangan pembakaran yang dipasang menjadi satu dengan casing turbin.

c) Turbin

Di ruang bakar, energi termal diubah menjadi suatu energi kinetik di sudu tetap dan kemudian menjadi energi mekanik di sudu berjalan, di mana energi mekanik menggerakkan poros turbin.

d) Generator

Energi mekanik putaran dari kutub magnet rotor diubah oleh generator menjadi energi listrik pada kumparan stator.

e) Alat Bantu Turbin Gas (Gas Turbine Auxilliary).

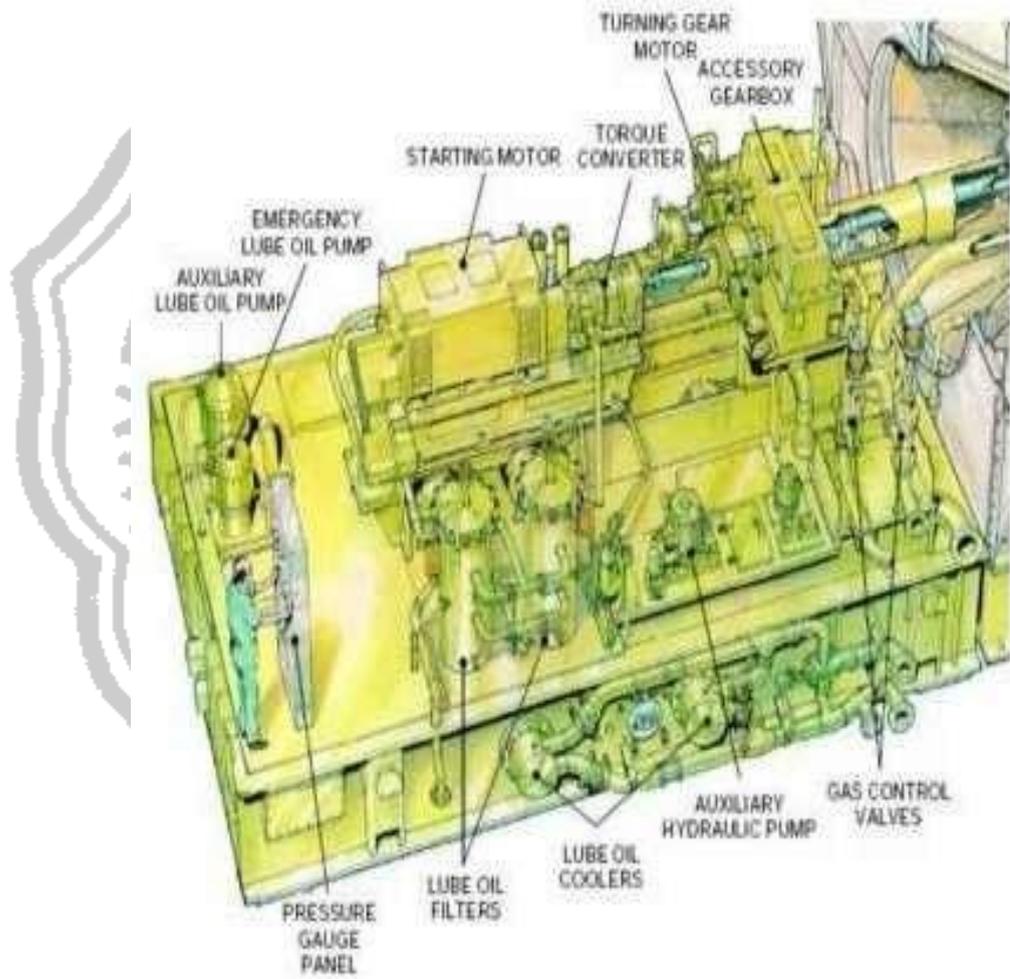
- Penggerak Mula (Prime Mover), yang terdiri dari diesel, starter motor (cranking motor), dan generator sebagai motor, memutar poros turbin gas sampai kekuatan bahan bakar dapat menggantinya (turbin gas mampu berdiri sendiri).
- Ratchet hidrolik memutar poros turbin sebelum start sebanyak 45° setiap tiga menit. Ini memungkinkan penggerak memutarnya lebih mudah dan meratakan pendinginan poros saat turbin gas berhenti.
- Turning Gear, yang memiliki fungsi yang sama dengan Gir ratchet, hanya diputar secara kontinu dengan putaran lambat (± 6 RPM).

- Accessories Gear, adalah tempa roda gigi untuk memutar alat bantu seperti pompa bahan bakar, pompa pelumas, pompa hidrolis, kompresor udara atomisasi utama, pompa air, dan tempat hubungan ratchet
- Torque Converter, Dalam fungsinya sebagai kopling hidrolis, pengubah kecepatan mengisi kopling dengan minyak pelumas. Saat dilepas, minyak pelumas masuk ke drainase.
- Load Gear Westinghouse digunakan untuk menggerakkan pompa bahan bakar dan pelumas. Ini digunakan untuk mengurangi pada kecepatan turbin menjadi kecepatan yang dibutuhkan oleh generator.
- Eksciter, alat yang menghasilkan arus searah untuk menguat kutub magnet Generator Utama
- Starting Clutch, Sebuah kopling mekanik, starter clutch, yang juga dikenal sebagai jaw clutch, berfungsi untuk menghubungkan poros penggerak starter dengan poros kompresor selama proses start.
- Bantalan, juga dikenal sebagai Bearing, terdiri dari bantalan aksial dan bantalan luncur. Bantalan luncur dikenal sebagai bantalan jurnal,

yang berfungsi sebagai penyangga berat poros turbin, kompresor, dan generator, dan bantalan aksial dikenal sebagai bantalan gaya aksial

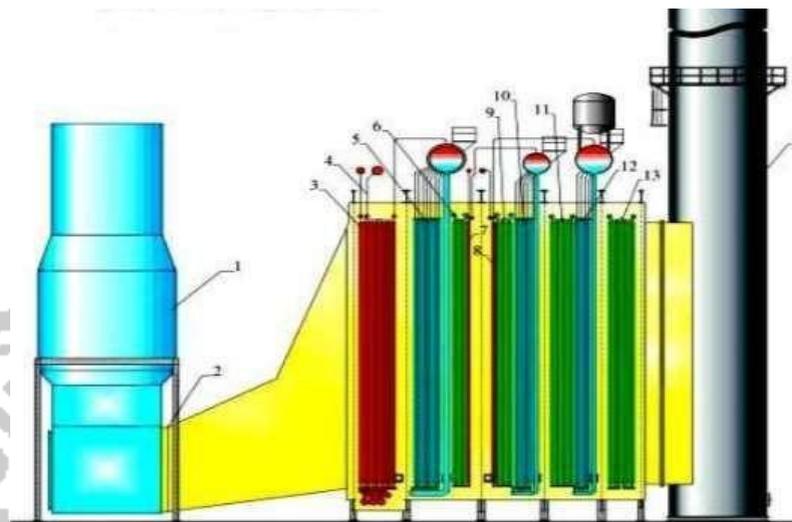
2.2.3.2 HRSG (Heat Recovery Steam Generator)

Bagian-bagian HRSG dibuat dalam bentuk jadi (pre-assembled) dan diangkut ke lokasi pemasangan. Ini meningkatkan kualitas peralatan dan mempercepat waktu



Gambar 2 . 9 Gas Turbine Auxiliary

pemasangan karena bagian-bagian pada modular dapat dipasang di lapangan. Gambar berikut menunjukkan peralatan HRSG utama :



4. Reheater.
5. High pressure evaporator.
6. High pressure economizer.
7. Intermediate pressure superheater.
8. Low pressure superheater.
9. High pressure economizer.
10. Intermediate pressure evaporator.
11. High pressure economizer/intermediate pressure economizer.
12. Low pressure evaporator.
13. Low pressure economizer.
14. Stack and silencer.

Gambar 2 . 10 Komponen HRSG

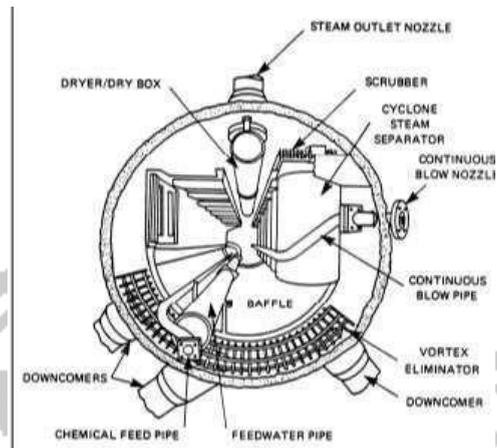
a) Bypass stack silencer

Silencer bypass stack mengeluarkan asap dari gas buang yang dihasilkan dari pembakaran turbin gas.

b) Drum

Merupakan wadah yang menampung air dari Economizer dan uap yang dihasilkan oleh penguapan dari Tube Wall (Riser). Seperti yang terlihat pada

gambar, di dalam Boiler Drum terdapat alat yang disebut Screen dryer (pengering uap) dan Steam separator (pemisah uap).



Gambar 2. 11 Boiler Drum

a) Superheater

Peralatan yang berfungsi sebagai menaikkan temperature suhu uap jenuh sampai menjadi uap panas lanjut sesuai kebutuhan menggerakkan turbin .

b) Reaheater

Peralatan ini berfungsi untuk meningkatkan suhu uap dari turbin bertekanan tinggi, memanaskannya kembali sesuai kebutuhan, agar dapat menggerakkan turbin pada tingkat tekanan berikutnya.

c) Evaporator

Evaporator juga dikenal sebagai Tube wall. Di dalam Tube wall terdapat air yang bersirkulasi dari boiler

drum melalui down comer dan low header. Panas yang dihasilkan dari proses pembakaran di dalam furnace diberikan kepada air yang berada di dalam Tube wall, sehingga air tersebut berubah menjadi uap.

d) Economizer .

Terdiri dari pipa-pipa air yang dipasang pada jalur gas buang sebelum keluar dari jalur ketel.

e) Stack and silencer

Sebuah cerobong asap dari gas buangan dari turbin uap setelah melalui HRSG.

2.2.2.2 Turbin Uap

Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) adalah kombinasi antara siklus Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Oleh karena itu, komponen utama dari PLTGU adalah PLTU beserta sistem dan peralatan pendukungnya. Bagian dari PLTU dalam siklus PLTGU meliputi, antara lain:

a) Turbin

Turbin uap berfungsi sebagai penggerak utama atau prime mover yang mengubah energi panas dari uap menjadi energi mekanis dengan memutar poros turbin. Poros turbin kemudian dikopel dengan mekanisme yang digerakkan, seperti poros generator, untuk

menghasilkan listrik. Selain itu, turbin uap juga dapat digunakan untuk memutar pompa, mengangkat barang, dan lain-lain. Sumber uap untuk turbin bisa berasal dari uap panas bumi, bahan bakar fosil, boiler nuklir, dan panas buangan dari PLTG.

b) Pompa Air

Pompa air pengisi berfungsi untuk membuat tekanan pada air pengisi dan mengalirkannya ke boiler HRSG. Pompa sentrifugal, dengan tekanan stabil pada aliran yang berubah naik turun digunakan. Motor listrik menggerakkan pompa air pengisi melalui kopling hidrolik yang dapat diatur kecepatannya. Pada umumnya, satu unit blok PLTGU memiliki tiga unit pompa untuk sistem air pengisi BFP, masing-masing dengan kapasitas 65% dari kebutuhan blok. Sistem pompa air pengisi dilengkapi dengan alat bantu seperti sistem pelumasan, sistem pendingin, sistem pengamanan proteksi, dan interlok, serta peralatan kontrol dan instrumen. Selain itu, sistem pompa air pengisi beroperasi secara otomatis melalui DCS. Setiap pompa dilengkapi dengan pipa dan katup untuk sirkulasi. Ketika pompa beroperasi pada kapasitas aliran beban rendah, sebagian besar energi yang digunakan pompa

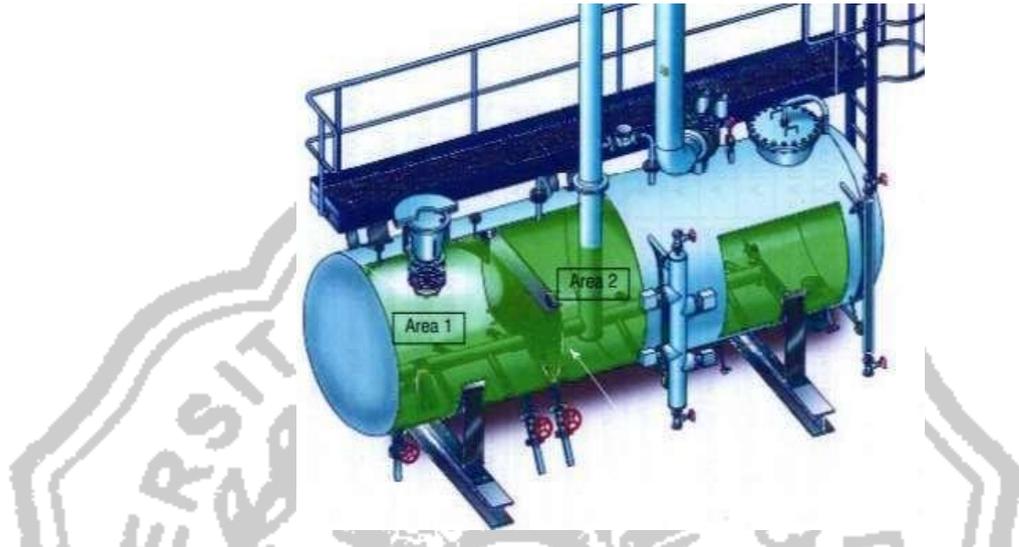
berubah menjadi panas, yang menaikkan suhu air pengisi Sirkulasi ini mencegah air dalam pompa menjadi terlalu panas hingga menguap, yang dapat merusak impeller pompa. Pipa sirkulasi menghubungkan sisi keluaran (discharge) pompa sebelum katup cek (check valve) kembali ke sisi masuk (suction) pompa. Sistem ini dilengkapi dengan katup kontrol sirkulasi untuk mempertahankan aliran minimum pompa, serta dua katup isolasi yang terletak sebelum dan sesudah katup kontrol sirkulasi.

c) Kondensor

Peralatan yang mengubah uap menjadi air melalui aliran uap kedalam ruangan yang terdiri dari pipa. Uap mengalir di luar pipa, sedangkan air, yang berfungsi sebagai pendingin, mengalir di dalam pipa. Surface (tube) condenser adalah nama condenser jenis ini. Untuk pendinginan, air sungai atau air laut digunakan. Uap tersebut diubah menjadi air melalui tekanan dan temperatur jenuh, dan kondensor berada dalam kondisi vakum. Karena temperatur air pendingin sama dengan temperatur udara luar temperatur maksimum air kondensatnya mendekati temperatur udara luar. Laju perpindahan panas akan terganggu, yang berdampak pada tekanan dan suhu.

d) Deaerator

Berfungsi sebagai memisahkan oksigen dan gas-gas berlarut dalam air yang digunakan sebagai pengisi. Jenis yang dipakai adalah tipe peyemprot (Spray tape)



Gambar 2. 12 Bagian Deareator

2.3 Faktor-faktor Terhadap Fungsi Generator

Terlepas dari jenis bahan bakar yang digunakan, semua generator membutuhkan jumlah udara yang cukup untuk memulai pembakaran. Penurunan level udara dapat menghentikan pengoperasian. Mesin diesel mengandung bahan bakar dan udara. Udara terkompresi menjadi panas, dan ketika suhu dan tekanan puncak telah dicapai, diesel diinjeksikan, yang kemudian menyala di bawah kondisi yang ditentukan. Dengan menggunakan bensin, campuran udara dan bahan bakar dimasukkan ke dalam generator bersamaan dengan percikan terinduksi dan karburator untuk menyalakan mesin.

a) Bahan bakar

Untuk memastikan bahwa bahan bakar yang digunakan mencapai tingkat kualitas dan kuantitas yang optimal, proses pengolahan bahan bakar di pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) terdiri dari beberapa tahap yang kompleks. Tahap pertama adalah penyimpanan bahan bakar, yang diikuti oleh tahap pra-pemrosesan, di mana bahan bakar dipersiapkan dan dimurnikan sebelum masuk ke dalam pembakar. Proses ini sangat penting untuk menghilangkan kontaminan dan mengoptimalkan komposisi bahan bakar untuk memenuhi spesifikasi pembangkit listrik. Komposisi kimia bahan bakar adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas dari bahan bakar yang digunakan dalam PLTGU: tingkat zat seperti sulfur, nitrogen, dan partikulat dapat memengaruhi kinerja mesin dan emisi yang dihasilkannya. Untuk menghindari energi yang terbuang atau kekurangan bahan bakar dalam pembangkit listrik, penggunaan bahan bakar disesuaikan dengan permintaan beban. Dalam PLTGU, berbagai metode dan teknologi telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengolahan bahan bakar. Salah satu yang paling umum adalah teknologi kontrol emisi, yang menggunakan peralatan seperti scrubber dan katalisator untuk mengurangi emisi polutan seperti sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen oksida (NO_x). Selain itu, teknik pengoptimalan proses pembakaran digunakan untuk lebih efisien mengubah bahan bakar menjadi energi listrik. Ini termasuk penggunaan teknologi boiler canggih dan kontrol suhu pembakaran untuk memaksimalkan pemanfaatan panas, mengurangi kerugian energi, dan memaksimalkan kontribusinya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik nasional secara berkelanjutan.

b) Suhu Udara

Temperatur yang tinggi juga berhubungan dengan kepadatan udara yang lebih rendah, yang dapat menyebabkan masalah pengapian serupa karena kurangnya pasokan udara. Hal ini bisa membuat mesin berusaha bekerja dengan keras untuk menghasilkan tenaga yang diperlukan. Namun, usaha ini gagal karena jumlah oksigen yang tersedia untuk pembakaran tidak mencukupi. Akibatnya, mesin sering kali menjadi terlalu panas.

c) Kelembaban

Kelembaban adalah pengukuran jumlah air dalam udara pada volume tertentu. Pada kelembaban yang sangat tinggi, uap air dalam udara menggantikan oksigen. Kekurangan oksigen dapat menghambat proses pembakaran dalam mesin karena oksigen diperlukan untuk menyulut bahan bakar.

2.4 Recurrent Neural Network (RNN)

RNN (Jaringan Saraf Urutan) adalah jenis jaringan saraf tiruan yang dirancang untuk menangani data urutan atau sequential. Jaringan ini sangat cocok untuk pekerjaan seperti pemodelan bahasa, analisis teks, dan prediksi deret waktu, karena dapat "mengingat" informasi dari input data sebelumnya. Berikut adalah beberapa karakteristik utama dari RNN:

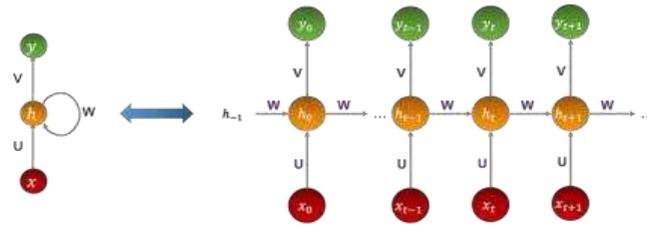
2.4.1 Struktur Rekursif : RNN terdiri dari unit-unit neuron yang terhubung

dalam urutan yang memungkinkan output dari satu unit menjadi masukan untuk unit berikutnya dalam urutan data. Hal ini menciptakan kemampuan jaringan untuk memproses data berurutan dengan mempertahankan konteks dari input sebelumnya.

- a) Memori Jangka Pendek : RNN memiliki kemampuan untuk mempertahankan keadaan internal atau "memori" dari urutan data yang telah diproses. Ini memungkinkan jaringan untuk menangkap informasi jangka pendek yang relevan dari input sebelumnya saat menghadapi input baru.
- b) Aplikasi: RNN banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti pemrosesan bahasa alami (NLP), pengenalan ucapan, analisis sentimen, penerjemahan bahasa, pemodelan musik, dan prediksi deret waktu. Keunggulan utamanya adalah kemampuannya untuk menangani data yang memiliki struktur urutan atau waktu.
- c) Tantangan : Meskipun sangat berguna, RNN juga memiliki beberapa tantangan, seperti masalah vanishing gradients atau exploding gradients saat pelatihan, di mana informasi dari input jauh dalam urutan dapat menjadi tidak relevan atau hilang.

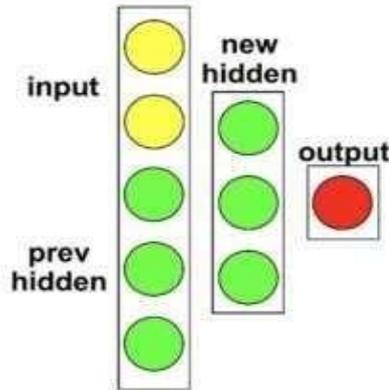
Pengembangan Model : Ada beberapa varian RNN yang dikembangkan untuk mengatasi masalah-masalah yang terkait dengan struktur dasar RNN, seperti *Long Short-Term Memory* (LSTM) dan *Gated Recurrent Unit* (GRU). LSTM, misalnya, dirancang untuk mempertahankan informasi jangka panjang dengan mengontrol aliran informasi dalam jaringan.

Secara keseluruhan, RNN adalah alat yang sangat kuat untuk pengolahan data berurutan dan telah banyak membantu kemajuan teknologi kecerdasan buatan, seperti proses pengolahan bahasa natural dan analisis deret waktu.



Gambar 2 . 14 Graph Recurrent Neuron Network (RNN)

Recurrent Neural Network



Persamaan :

Gambar 2 . 13 Ilustrasi Recurrent Neuron Network (RNN)

x_t : Input pada waktu t

h_t : Keadaan memori pada waktu t

y_t : Output pada waktu t

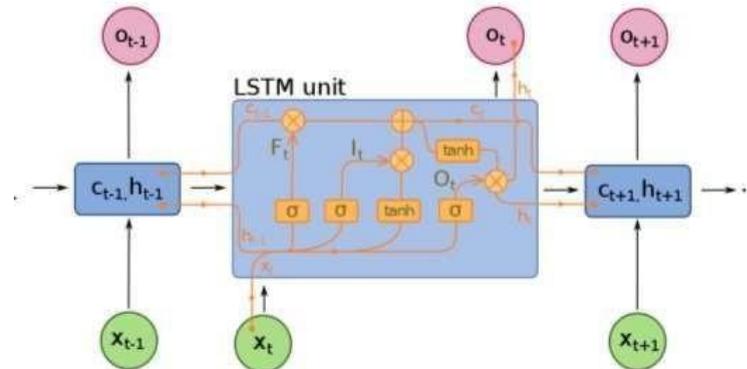
dimana:

$$h_t = \phi(U \cdot x_t + W \cdot h_{t-1}) \text{ and } y_t = \psi(V \cdot h_t)$$

2.5 Long Short Term Memory (LSTM)

LSTM adalah modifikasi RNN yang memiliki banyak jenis gerbang yaitu input, forget gate, dan output gate serta memori. Bergantung pada kompleksitas jaringan, LSTM memiliki kemampuan untuk mempelajari lebih dari 1000 langkah sebelumnya. Struktur algoritma LSTM terdiri dari beberapa blok memori dan neuron network. Sebuah sel adalah nama blok memori ini. State dan state yang tersembunyi akan dikirim ke cell berikutnya.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah, bangun persegi panjang berwarna biru berfungsi sebagai representasi cell pada LSTM.



Gambar 2. 15 Unit Cell Long Short-Term Memory (LSTM)

- a) Dari feed-forward input saat ini $x(t)$, dan koneksi feed-back dari hidden system state sebelumnya $h(t-1)$, current states yang terdiri dari input, forget, dan output gates dihitung sebagai berikut:

$$i(t) = \sigma(W_i \cdot x(t) + V_i \cdot h(t-1) + b_i)$$

$$f(t) = \sigma(W_f \cdot x(t) + V_f \cdot h(t-1) + b_f)$$

$$o(t) = \sigma(W_o \cdot x(t) + V_o \cdot h(t-1) + b_o)$$

- $i(t)$: Input gate, yang menentukan seberapa banyak informasi baru $x(t)$ yang harus dimasukkan ke dalam memori sel.
- σ : Fungsi aktivasi sigmoid, yang mengubah nilai menjadi rentang antara 0 dan 1.
- W_i : Bobot yang menghubungkan input saat ini $x(t)$ ke input gate.
- V_i : Bobot yang menghubungkan memori sebelumnya $h(t-1)$

- b) Lalu, cell states saat ini, $c(t)$, dihitung dengan memodifikasi status sel dari literasi waktu sebelumnya dengan isi yang dihitung dari input dan forget gates:

$$c(t) = f(t) * c(t-1) + i(t) \tanh(W_c \cdot x(t) + V_c \cdot h(t-1) + b_c)$$

- $f(t)$: Forget gate, menentukan seberapa banyak memori sebelumnya $c(t - 1)$ yang akan dilupakan.
- $c(t - 1)$: Memori sel dari langkah waktu sebelumnya.
- $*$: Operasi elemen-per-elemen (Hadamard product)
- $i(t)$: Input gate, menentukan seberapa banyak informasi baru yang akan ditambahkan ke memori sel.
- $\tanh(Wc \cdot x(t) + Vc \cdot h(t - 1) + bc)$: Informasi baru yang dihasilkan berdasarkan input saat ini $x(t)$ dan memori tersembunyi sebelumnya $h(t - 1)$, setelah melalui fungsi aktivasi $\tanh(\cdot)$, yang menghasilkan nilai antara -1 dan 1.

c) Pada akhirnya, cell states yang telah diperbarui dan nilai output gatesnya digunakan untuk mengkomputasi hidden states baru dari sistem. Ini kemudian, dalam perhitungan feedforward, akan menghasilkan output akhir dari jaringan neural.:

$$h(t) = o(t) * \tanh(c(t))$$

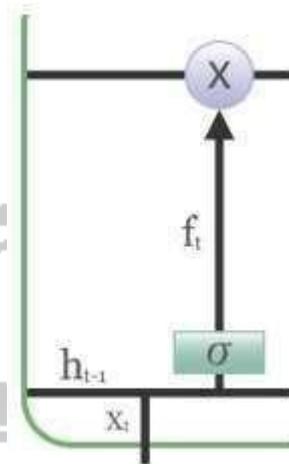
- $h(t)$: Hidden state pada waktu t.
- $o(t)$: Output gate.
- $*$: Operasi elemen-per-elemen (Hadamard product)
- $\tanh(c(t))$: Aktivasi memori sel.

Algoritma LSTM mengumpulkan informasi yang kemudian disimpan dalam sel dan memori diatur melalui komponen yang dikenal sebagai gate. Algoritma LSTM memiliki tiga jenis gate, yaitu *Forget gate*, *Input gate*, dan *Output gate*, yang bertanggung jawab untuk manipulasi memori:

- Forget gate

Memutuskan data mana yang akan disimpan dan mana yang akan dibuang. Informasi tersembunyi (hidden state) dari cell sebelumnya dan informasi baru dari input saat ini akan dikumpulkan dan diproses oleh fungsi sigmoid, yang menghasilkan hasil antara 0 dan 1.

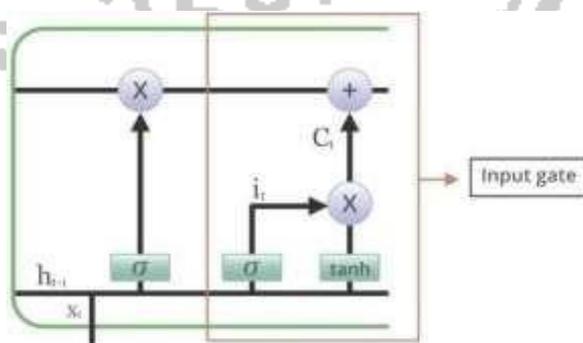
Hasil yang lebih dekat dengan nol menunjukkan bahwa informasi akan dibuang, sedangkan hasil yang lebih dekat dengan satu menunjukkan bahwa informasi akan disimpan..



Gambar 2 . 16 Forget Gate

- Input gate

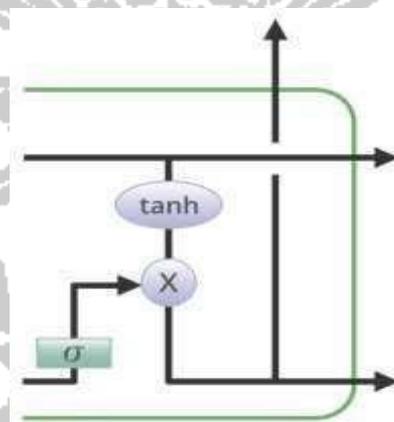
Setelah menerima informasi yang terdiri dari *state* tersembunyi dari *cell* sebelumnya dan informasi baru dari *input* saat ini, fungsi *sigmoid* dan fungsi *tanh* digunakan untuk menggabungkan dan memproses informasi tersebut. Nilai fungsi *sigmoid* berkisar antara 0 dan 1 dan menunjukkan bahwa informasi tidak penting dan bahwa informasi penting. Nilai fungsi *tanh* berkisar antara 0 dan 1.



Gambar 2 . 17 Input Gate

- Output gate

Untuk menentukan *hidden state* yang akan dikirim ke sel berikutnya, *output gate* melakukan beberapa langkah penting. Pertama, *output gate* menerima dua jenis informasi: *hidden state* dari sel sebelumnya dan informasi baru dari input saat ini. Informasi ini digabungkan dan diproses menggunakan fungsi *sigmoid*. Selanjutnya, *cell state* baru dihasilkan melalui fungsi *tanh*. Keluaran dari fungsi *tanh* ini dikalikan dengan keluaran dari fungsi *sigmoid* untuk menghasilkan informasi yang akan disimpan dalam *hidden state* yang baru. *Hidden state* yang baru bersama dengan *cell state* baru akan diteruskan ke sel berikutnya untuk proses selanjutnya



Gambar 2.18 Output Gate

Secara sederhana cara kerja algoritma LSTM dapat dijabarkan dalam langkah- langkah berikut:

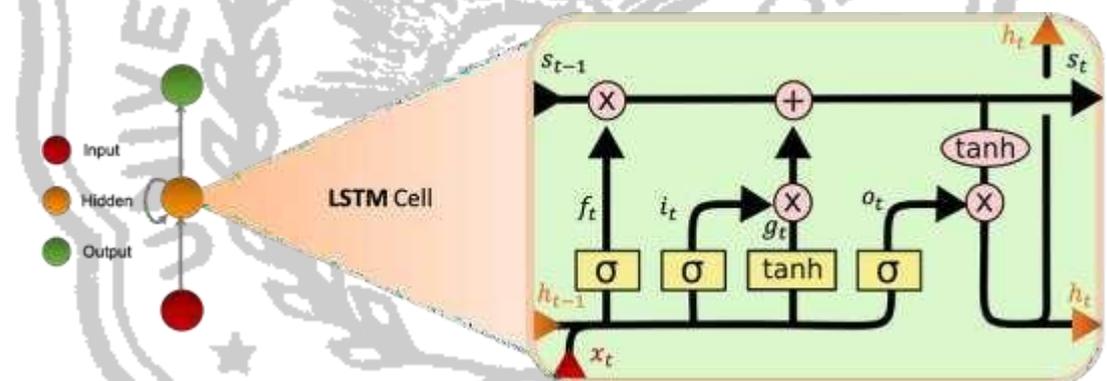
Langkah 1: LSTM menggunakan lapisan sigmoid untuk menentukan bagian mana dari cell state yang perlu dipertahankan dan mana yang perlu dihapus.

Hal ini memungkinkan LSTM untuk memilih informasi yang relevan yang akan disimpan dalam cell state.

Langkah 2: LSTM memutuskan informasi baru yang perlu dipertahankan dan menggantikan yang tidak relevan yang telah diidentifikasi pada tahap pertama. Fungsi tanh dan sigmoid berperan penting dalam proses pengenalan informasi yang relevan.

Langkah 3: Hasilnya ditentukan oleh penggunaan status sel saat ini yang akan dimodifikasi oleh fungsi sigmoid dan tanh yang digunakan untuk penyaringan..

Grafik di bawah ini menunjukkan operasi sel LSTM:



Gambar 2.19 Graph Long Short-Term Memory (LSTM)

2.6 Akurasi Peramalan

2.6.1 Fungsi Sigmoid Biner

Sigmoid function, atau fungsi sigmoid, sering digunakan dalam berbagai jenis jaringan saraf termasuk dalam Recurrent Neural Networks (RNN). Fungsi sigmoid adalah fungsi aktivasi yang mengonversi input kontinu menjadi output yang memiliki rentang nilai antara 0 dan 1. Dalam

konteks RNN, sigmoid biasanya digunakan di dua tempat utama:

a) **Gate pada LSTM dan GRU:** Dalam arsitektur LSTM (Long Short-Term Memory) dan GRU (Gated Recurrent Unit), sigmoid sebagai fungsi aktivasi untuk mengendalikan aliran informasi dalam sel jaringan. Khususnya dalam LSTM:

- **Forget Gate (Gerbang Lupakan):** Menggunakan sigmoid untuk memutuskan seberapa banyak informasi dari state sel sebelumnya yang akan dilupakan.
- **Input Gate (Gerbang Masukan):** Menggunakan sigmoid untuk menentukan seberapa banyak informasi baru yang akan diperbarui ke state sel.

Dalam GRU, gerbang reset dan gerbang update juga menggunakan fungsi sigmoid untuk mengendalikan aliran informasi.

b) **Output Activation:** Pada akhir urutan data, output dari jaringan RNN sering kali melewati fungsi sigmoid untuk menghasilkan output probabilitas yang berada dalam rentang 0 - 1. Ini sering digunakan dalam tugas-tugas seperti analisis sentimen, di mana output dari RNN dapat dianggap sebagai probabilitas kelas positif atau negatif.

Karakteristik Sigmoid Function :

Sigmoid function memiliki rumus matematis sebagai berikut

$$\sigma(\mathbf{x}) = \frac{1}{1 + e^{-\mathbf{x}}}$$

x : Input untuk fungsi sigmoid. Nilai ini bisa berupa hasil dari kombinasi linear input, bobot, dan bias dalam jaringan saraf.

e^{-x} : Bilangan Euler,

- **Rentang Nilai:** Output sigmoid selalu berada di antara 0 dan 1, yang membuatnya cocok untuk tugas-tugas di mana perluasan input ke rentang tersebut diperlukan, seperti dalam pengontrolan aliran informasi dalam LSTM atau dalam menghasilkan probabilitas output pada akhir RNN.
- **Penggunaan dalam Gradient Descent:** Sigmoid juga digunakan dalam proses pelatihan jaringan saraf dengan metode backpropagation, di mana turunan sigmoid :

$$\sigma'(x) = \sigma(x) \cdot (1 - \sigma(x))$$

$\sigma'(x)$: Turunan Fungsi sigmoid

$\sigma(x)$: Fungsi sigmoid itu sendiri

Dalam konteks RNN, penggunaan sigmoid tergantung pada struktur spesifik dari arsitektur yang digunakan (misalnya, LSTM, GRU) dan tugas yang ingin dicapai (seperti mengontrol aliran informasi atau menghasilkan output probabilitas)

2.6.2 Fungsi Tanh (Hyperbolic Tangent)

Berulang Jaringan Saraf (RNN) adalah contoh fungsi aktivasi yang sering digunakan dalam berbagai jenis jaringan saraf, terutama dalam bagian dari arsitektur seperti LSTM (Long Short-Term Memory) dan GRU (Gated Recurrent Unit). Fungsi tanh menawarkan beberapa

keuntungan bermanfaat dalam pemrosesan data berurutan

Karakteristik Fungsi tanh :

Fungsi tanh memiliki rumus matematis sebagai berikut:

$$\mathit{Tanh}(X) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$$

Tanh LSTM : Nilai input ke fungsi softmax untuk kelas i
 e^{X_i} : Eksponensial dari nilai input X_i
 e^{X_j} : Jumlah eksponensial dari semua input

- **Rentang Nilai:** Output dari fungsi tanh berada dalam rentang -1 hingga 1, yang berarti fungsi ini memetakan input dari domain kontinu ke rentang ini. Hal ini membedakan tanh dari sigmoid, yang outputnya berada di antara 0 dan 1.
- **Sifat Nirlimit:** Seperti sigmoid, tanh juga adalah fungsi non-linear, yang penting untuk memungkinkan jaringan saraf untuk mempelajari representasi yang kompleks dari data input.

Dalam konteks RNN, fungsi tanh biasanya digunakan di beberapa tempat utama:

- a) **State Activation pada LSTM dan GRU:** Dalam LSTM dan GRU, fungsi tanh sering digunakan sebagai fungsi aktivasi untuk menghasilkan output dari setiap unit atau dalam komputasi state sel.
 - **State Activation (C_t pada LSTM):** Dalam LSTM, nilai state sel (C_t) sering kali diperbarui dengan menggunakan fungsi tanh. Ini membantu dalam

mengatur jumlah informasi yang tersimpan dalam state sel dari iterasi ke iterasi.

- **Candidat State (C'_t pada GRU):** Dalam GRU, fungsi tanh digunakan untuk menghasilkan kandidat state sel (C'_t), yang merupakan gabungan dari informasi sebelumnya dan informasi baru yang akan diperbarui dalam state sel.

b) **Output Activation:**

Pada akhir urutan data, output dari RNN atau LSTM sering kali melewati fungsi tanh untuk menormalkan nilai dan menghasilkan output yang dapat diinterpretasikan dalam rentang -1 hingga 1.

2.6.3 Mean Squared Error (MSE)

Salah satu metode lain untuk mengevaluasi teknik peramalan adalah dengan Mean Squared Error (MSE). Dalam MSE, setiap residu atau kesalahan peramalan dikuadratkan, dijumlahkan, dan kemudian dibagi dengan jumlah observasi. Penggunaan kuadrat pada kesalahan ini membantu mengurangi dampak dari kesalahan peramalan yang signifikan. Untuk orang yang memiliki kesalahan kecil tetapi kadang-kadang menghasilkan kesalahan yang sangat besar, mungkin lebih baik menggunakan metode yang menghasilkan kesalahan moderat. Rumus yang digunakan untuk menghitung MSE adalah

$$\text{MSE} = |\text{MAD}|^2$$

2.6.4 Adaptive Moment Estimation with Weight Decay (AdamW)

Optimizer AdamW adalah varian dari algoritma Adam yang dirancang untuk meningkatkan performa dalam pelatihan model deep learning, termasuk *Long Short Term Memory* (LSTM). AdamW memperkenalkan modifikasi pada cara penanganan regularisasi, khususnya dengan mengimplementasikan weight menghitung learning rate yang adaptif untuk setiap parameter berdasarkan estimasi momen pertama (rata-rata gradien) dan momen kedua (rata-rata kuadrat gradien) dari gradien. Hal ini memungkinkan AdamW untuk menangani data yang besar dan parameter yang kompleks dengan efisien decay yang lebih efektif.

AdamW memisahkan weight decay dari adaptasi gradien. Tujuannya adalah agar weight decay hanya mempengaruhi bobot langsung, tanpa terpengaruh oleh mekanisme momentum atau RMSProp.

a) **Perubahan Utama:**

- **Weight Decay Ditangani Secara Eksplisit:** Alih-alih memasukkan *weight decay* ke dalam gradien loss, AdamW memodifikasi update parameter:

$$\theta_t + 1 = \theta_t - \eta \left(\frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} + \lambda \theta_t \right)$$

di mana λ adalah hyperparameter *weight decay*.

$\theta_t + 1$: Nilai baru dari parameter θ pada iterasi berikutnya (k+1).

θ_t : Nilai parameter θ saat ini pada iterasi k.

η : Learning rate atau tingkat pembelajaran.

- n_k : gradien dari fungsi loss atau fungsi yang dioptimalkan, dihitung pada iterasi k.
- v_k : Rata-rata kuadrat gradien atau estimasi variansi gradien pada iterasi k.
- ϵ : Konstanta kecil untuk mencegah pembagian dengan nol.

• **Rumus Lengkap AdamW:**

1. Gradien pertama : $m_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t$

2. Gradien kedua : $v_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2$

3. Koreksi Bias : $\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 + \beta_1^t}, v_t = \frac{v_t}{1 + \beta_2^t}$

4. Update Parameter : $\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \frac{\hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t + \epsilon}} - \eta \lambda \theta_t$

Di mana:

- g_t adalah gradien pada iterasi
- m_t dan v_t adalah estimasi momen pertama dan kedua
- α adalah learning rate, dan ϵ adalah nilai kecil untuk stabilitas

