

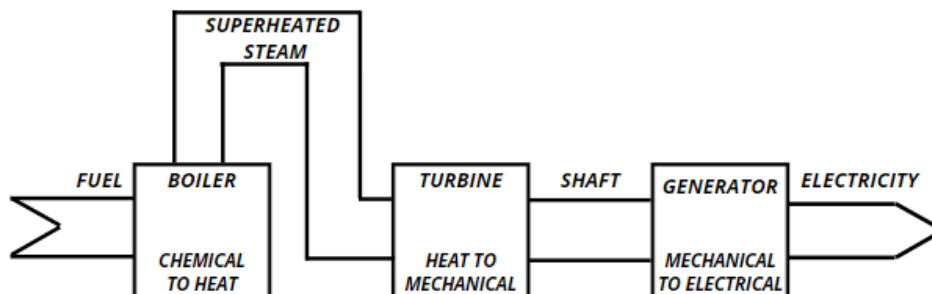
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi membangkitkan energi listrik dengan mengubah sumber energi lain menjadi energi listrik. Energi listrik dapat dihasilkan dengan diperlukan sebuah alat pembangkit yang sering disebut generator. Generator hanya dapat membangkitkan energi listrik jika porosnya diputar. Generator dapat diputar dengan memerlukan energi mekanik yang biasanya dihasilkan oleh turbin. Turbin inilah yang difungsikan untuk mengubah energi dari sumber energi primer menjadi energi gerak atau energi mekanik. Sumber energi tersebut dapat berupa energi air, bahan bakar minyak, batu bara, angin, surya dan lain-lain. Penamaan jenis pembangkit listrik sesuai dengan energi penggerakannya. Salah satu contohnya adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang turbinnya digerakan oleh tenaga uap panas bertekanan tinggi yang dihasilkan dari pemanasan air [17].

#### 2.1.1 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Prinsip dasar pembangkit tenaga uap adalah dengan memanfaatkan energi potensial panas dari uap air untuk memutar turbin uap yang mengubah energi potensial panas uap menjadi energi mekanik, dan turbin akan memutar generator yang kemudian menghasilkan energi listrik [18]. Konversi energi yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga uap dapat dilihat pada Gambar 2.1.

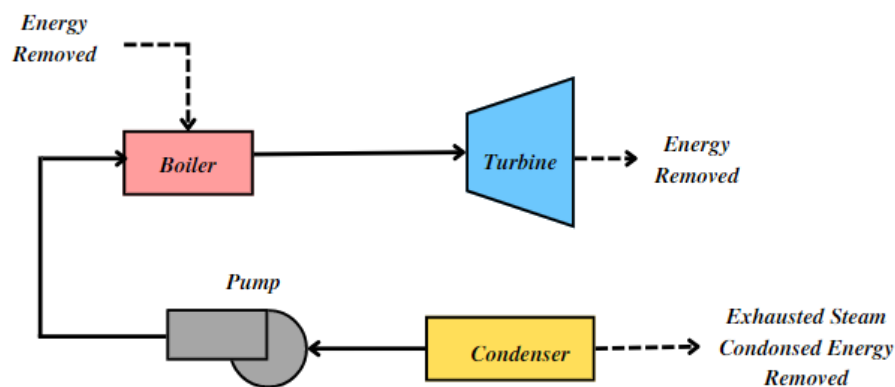


Gambar 2.1 Konversi Energi di PLTU [18]

Sesuai Gambar 2.1 proses penyerapan energi panas dari bahan bakar yang mana proses ini disebut sebagai *chemical to heat* digunakan untuk memanaskan air berada pada *boiler*. Kemudian air dipanaskan tersebut melalui energi panas dan dirubah fasanya menjadi *superheated steam* dalam *boiler* [18].

*Superheated steam* yang terbentuk akan dialirkan menuju turbin, energi potensial panas dan tekanan *steam* ini akan berpotongan dengan sudut-sudut turbin dan akan terekspansi sehingga menimbulkan energi kinetik untuk memutar poros turbin maka pada proses ini terjadi konversi energi yaitu *heat to mechanical*. Turbin yang dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet generator, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal *output* generator [18].

*Steam* yang terekspansi akan berubah fasa kembali dalam kondenser dan panas yang tersisa akan dibuang melalui *cooling tower*. Kemudian *steam* yang telah berubah fasa kembali menjadi air akan dialirkan kembali oleh pompa menuju *boiler* [18]. Lebih jelasnya proses pembangkitan tenaga listrik dalam PLTU dapat dilihat dari Gambar 2.2 berikut:



Gambar 2.2 Proses Pembangkitan Listrik Tenaga Uap[18]

Pada Gambar 2.2 adalah pembangkit daya uap menggunakan air sebagai fluida kerja. Secara sederhana, prinsip kerja PLTU yaitu air dipompa kedalam *boiler*/ketel uap, pada *boiler* air diubah menjadi uap. Kemudian uap yang sudah bertekanan dan bertemperatur tertentu dialirkan ke dalam turbin uap, lalu energi uap

tersebut digunakan untuk memutar turbin untuk memperoleh energi mekanik. Turbin uap yang dikopel dengan generator, akan memutar generator secara langsung [19].

Kemudian, uap yang sudah digunakan untuk memutar turbin akan masuk ke kondensor dan akan diubah kembali menjadi air. Air hasil kondensasi di kondensor disebut air kondensat. Kemudian menggunakan pompa, air kondensat dialirkan kembali ke *boiler* dan begitu seterusnya dilakukan secara berulang ulang. Pada kondensor, jika volume air berkurang, maka akan ditambahkan kembali (*makeup water*) sehingga volume air tetap [19].

### 2.1.2 Generator Sinkron

Generator sinkron disebut juga generator arus bolak-balik, memberikan hubungan penting dalam proses perubahan energi ke dalam bentuk yang bermanfaat. Generator sinkron adalah mesin sinkron yang mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi elektromagnetik atau fluksi yang kemudian mengubah energi listrik. Asas generator yang bekerja berdasarkan Hukum Induksi Faraday yaitu, “Apabila jumlah garis gaya yang melalui kumparan diubah, maka gaya gerak listrik diinduksikan dalam kumparan itu. Besar gaya gerak listrik yang diinduksikan berbanding lurus dengan laju perubahan jumlah garis gaya melalui kumparan” [20].

Frekuensi yang dihasilkan generator sinkron tergantung dari kecepatan rotor (rpm) dengan jumlah kutub pada rotor generator tersebut. Hubungan diantaranya dapat dinyatakan pada Persamaan (2.1).

$$f = \frac{Pn}{120} \quad (2.1)$$

Keterangan:

$f$  = Frekuensi (Hz)

$n$  = Kecepatan rotor (rpm)

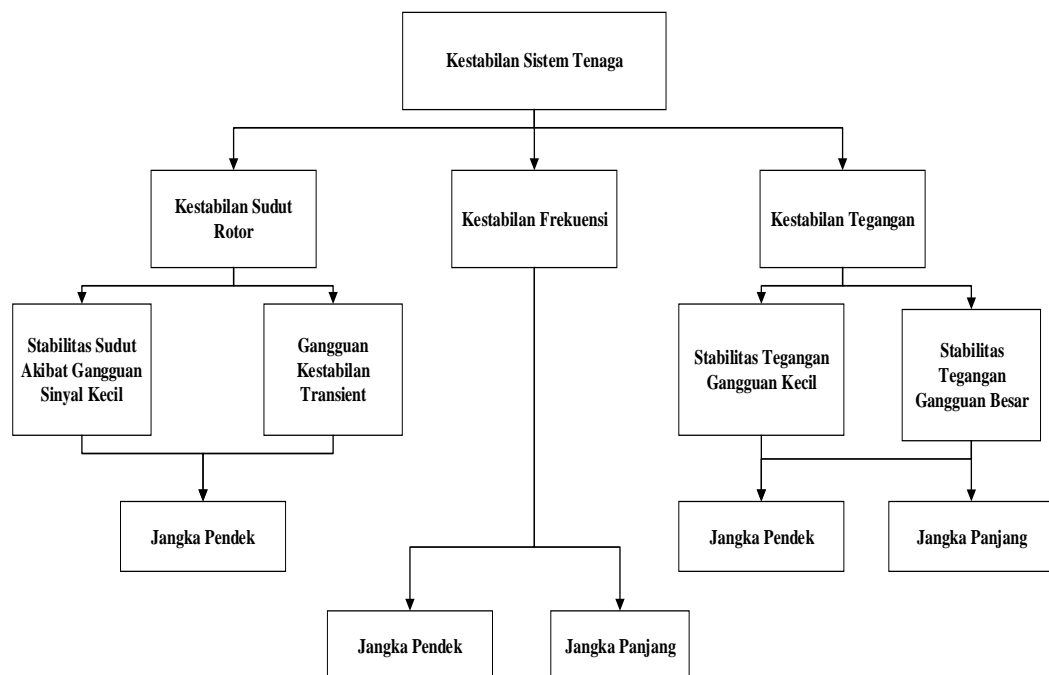
$P$  = Jumlah kutub generator

Pada Persamaan (2.1) dijelaskan bahwa frekuensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh jumlah kutub generator ( $P$ ), dan kecepatan rotor ( $n$ ). Kondisi frekuensi dari keseluruhan sistem secara langsung tergantung pada jumlah daya

nyata yang dapat digerakkan oleh generator utama ke sistem, dan juga pada energi mekanik yang tersedia untuk membantu generator penggerak utama menghadapi gangguan. Energi yang tersimpan ini bervariasi antara lain turbin gas, turbin uap, dan unit hidro. Akibatnya, kinerja sistem tenaga yang dipasok akan berbeda berdasarkan jenis penggerak utama [7].

## 2.2 Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Stabilitas sistem tenaga listrik merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk tetap berada dalam keadaan seimbang pada kondisi operasi dibawah normal dan dapat kembali mencapai keadaan yang seimbang lagi setelah mengalami gangguan. Stabilitas sistem tenaga secara umum dibagi dalam dua kategori utama yaitu *stabilitas steady state* dan *stabilitas transient*. *Stabilitas steady state* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan kecil, sedangkan *stabilitas transient* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk kembali ke kondisi operasi normal setelah mengalami gangguan besar seperti hilangnya pembangkitan, hilangnya beban besar dan gangguan hubung singkat [21]. Gambar 2.3 menunjukkan klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik.



Gambar 2.3 Klasifikasi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik [22]

Dapat dilihat pada Gambar 2.3 klasifikasi stabilitas sistem tenaga listrik dibagi menjadi 3 yaitu kestabilan sudut rotor, kestabilan tegangan, dan kestabilan frekuensi.

### **2.2.1 Kestabilan Sudut Rotor**

Kestabilan sudut rotor mengacu pada kemampuan mesin sinkron dari sistem daya yang saling berhubungan untuk tetap sinkronisme setelah mengalami gangguan. Itu tergantung pada kemampuan untuk mempertahankan atau mengembalikan keseimbangan antara torsi elektromagnetik dan torsi mekanis dari setiap mesin sinkron dalam sistem. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi terjadi dalam bentuk ayunan sudut yang meningkat dari beberapa generator yang menyebabkan hilangnya hubungan yang sinkron dengan generator lainnya [22].

### **2.2.2 Kestabilan Tegangan**

Stabilitas tegangan adalah tegangan pada sistem dapat mempertahankan atau memulihkan dalam lingkup tegangan yang diizinkan setelah sistem mengalami gangguan kecil atau besar. Menurut ukuran gangguan, stabilitas tegangan dapat dibagi menjadi stabilitas tegangan statis dan stabilitas tegangan gangguan besar. Stabilitas tegangan statis mengacu pada tegangan sistem yang dapat mempertahankan atau memulihkan tegangan yang diizinkan setelah sistem sampai pada gangguan kecil, agar tidak terjadi jatuh tegangan. Ini digunakan terutama untuk menentukan cadangan stabilitas statis tegangan dalam sistem operasi normal dan kecelakaan. Stabilitas tegangan gangguan besar termasuk stabilitas tegangan transien, stabilitas tegangan dinamis dan stabilitas tegangan jangka panjang, itu adalah bahwa sistem daya tidak terjadi jatuh tegangan setelah sistem mendapatkan gangguan besar [23].

### **2.2.3 Kestabilan Frekuensi**

Stabilitas frekuensi mengacu pada kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan frekuensi yang stabil setelah gangguan sistem yang parah dalam ketidakseimbangan yang signifikan antara generasi dan beban. Itu tergantung pada kemampuan mempertahankan atau mengembalikan keseimbangan antara

pembuatan dan pemuatan sistem, dengan minimum yang tidak disengaja kehilangan muatan. Ketidakstabilan yang mungkin terjadi terjadi dalam bentuk berkelanjutan frekuensi yang menyebabkan *trip* pada generator yang dapat memadamkan aktifitas pembangkitan tenaga listrik [22].

### 2.3 Pengaturan Frekuensi

Frekuensi sistem perlu dijaga pada nilai nominal, hal ini dikarenakan peralatan listrik hanya dapat bekerja dengan baik pada frekuensi tertentu. Dari sisi generator, saat frekuensi sistem naik melebihi nilai nominal maka generator akan *trip* karena *over speed relay* bekerja. Sedangkan saat frekuensi turun melebihi nilai nominal, maka pembangkit akan trip karena *under frequency relay* bekerja. Dari sisi beban, turunnya frekuensi mengakibatkan peralatan listrik tidak dapat bekerja secara optimal. Sedangkan, jika frekuensi naik melebihi nilai nominal maka dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Untuk mempertahankan frekuensi dalam batas nilai toleransi yang diperbolehkan, pembangkitan daya aktif dalam sistem harus selalu disesuaikan dengan kebutuhan daya aktif konsumen. Pengaturan daya aktif dilakukan dengan mengatur torsi penggerak generator. Hubungan antara torsi penggerak generator dengan torsi beban yang membebani generator didapatkan Persamaan (2.2) yaitu [24]

$$(\tau_G - \tau_B) = H \times \frac{\partial \omega}{\partial t} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$\tau_G$  = Torsi penggerak generator (Nm);

$\tau_B$  = Torsi beban yang membebani generator (Nm);

H = Konstanta inersia pada generator (MJ/MVA)

$\omega$  = Kecepatan sudut perputaran generator (rad/s)

t = waktu (s)

Sedangkan frekuensi yang dihasilkan generator ditunjukkan pada Persamaan (2.3) berikut:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2.3)$$

Dari Persamaan (2.2) dan (2.3) menjelaskan bahwa pengaturan frekuensi dalam suatu sistem adalah dengan mengatur torsi penggerak generator yang

dilakukan dengan cara mengatur pemberian bahan bakar pada unit sistem, dimana hal tersebut dilakukan oleh *governor* unit pembangkit [24].

## 2.4 Gangguan Beban Lebih

Gangguan beban lebih pada suatu sistem tenaga listrik terjadi akibat adanya pembangkit yang menyuplai daya keluar dari sistem interkoneksi dengan pembangkit lainnya dan penambahan daya beban yang besar secara mendadak sehingga mengakibatkan jumlah daya yang dihasilkan generator dan jumlah daya beban yang digunakan tidak seimbang. Ketidakseimbangan daya tersebut dapat mengakibatkan frekuensi dari generator semakin lama semakin turun dan apabila dibiarkan akan merusak generator yang lainnya [5]. Kecepatan penurunan frekuensi yang terjadi dipengaruhi oleh seberapa besarnya daya generator yang hilang pada sistem

Dalam kasus kelebihan beban dikenal istilah daya percepatan ( $P_A$ ) dalam hal ini dinyatakan dalam Persamaan (2.4) sebagai berikut [21]:

$$P_A = P_M - P_E \quad (2.4)$$

Keterangan:

$P_A$  = Daya percepatan (Watt)

$P_M$  = Daya mekanik generator (Watt)

$P_E$  = Daya elektrik permintaan beban (Watt)

Sesuai dengan Persamaan (2.4) daya percepatan ( $P_A$ ) dipengaruhi oleh daya mekanik generator ( $P_M$ ) yang sebagai suplai elektrik dan daya elektrik permintaan beban ( $P_E$ ).

### 2.4.1 Perubahan Frekuensi Akibat Gangguan Beban Lebih

Laju perubahan frekuensi merupakan perubahan besarnya daya yang dihasilkan generator dan daya yang dibutuhkan beban. Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi besar laju perubahan frekuensi. Faktor-faktor tersebut antara lain:

- a. Konstanta inersia
- b. Daya mekanik generator
- c. Daya elektrik yang dibutuhkan beban

Faktor-faktor tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan laju penurunan frekuensi. Dengan perkiraan tersebut, dapat juga ditentukan besar frekuensi akhir saat sebelum pemutus tenaga terbuka. Jumlah beban yang harus dilepas untuk pemulihan frekuensi dapat ditentukan [5].

Hubungan yang mendefinisikan perubahan frekuensi terhadap waktu, dalam hal ini disebut dengan laju perubahan frekuensi berdasarkan perubahan besarnya daya yang dihasilkan generator dan daya yang dibutuhkan beban dapat digambarkan oleh persamaan *swing* suatu generator sederhana sebagai berikut [21].

$$\frac{df}{dt} = \frac{P_A f_0}{2GH} \quad (2.5)$$

Keterangan:

$P_A$  = Daya percepatan (Watt)

$G$  = *Rating* MVA generator

$H$  = Konstanta inersia generator (MJ/MVA)

$f_0$  = Frekuensi nominal generator (Hz)

Jika dilihat pada Persamaan (2.4) dan Persamaan (2.5) terbukti bahwa besarnya laju penurunan frekuensi dipengaruhi oleh tiga faktor yang telah disebutkan sebelumnya yaitu konstanta inersia, daya mekanik generator, dan daya elektrik permintaan beban.

#### 2.4.2 Cara Mengatasi Gangguan Beban Lebih

Penurunan frekuensi sistem yang berkelanjutan akan mengakibatkan pemadaman total pada sistem karena akan merusak sistem pembangkitan [5].

Hal-hal yang dapat dilakukan untuk mengatasi pemadaman total antara lain:

1. Mengoptimalkan kapasitas pembangkit yang masih beroperasi

Pengoptimalan kapasitas daya ini dilakukan oleh *governor* [5]. Apabila terjadi keadaan berkurangnya daya pembangkit hanya berkisar 10% sampai 15% maka penurunan frekuensi akan terjadi secara perlahan karena *governor* pembangkit masih sempat bekerja dan daya cadangan panas yang ada (*spinning reserve*) sebesar 10% sampai 15 % dapat digunakan dengan mengubahnya menjadi daya listrik.

2. Pelepasan beban

Ketika pengoptimalan kapasitas pembangkit yang masih beroperasi masih



belum dapat mengatasi gangguan beban lebih maka diperlukan suatu pelepasan beban. Pelepasan beban ini dapat dilakukan dengan cara manual dan otomatis menggunakan *under frequency relay* [24].

### 3. Operasi pemisahan (*island operation*).

Ketika penurunan frekuensi terjadi secara drastis dan pelepasan beban tidak mampu mengatasinya maka langkah terakhir di lakukan *island operation*. *Island operation* atau operasi pemisahan suatu unit pembangkit akan dilakukan bila terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan sistem akan mengarah ke kondisi *blackout*, maka pembangkit yang direncanakan untuk *island operation* tetap dapat beroperasi dengan beban sebagian (pulau) memisahkan diri dari sistem. *Island operation* ini mempunyai tujuan mempercepat proses *recovery* sistem bila terjadi gangguan besar dan mencegah terjadinya padam total pada sistem, dan untuk menekan energi tak tersalur akibat gangguan [24] .

## 2.5 Pelepasan Beban

*Load shedding* adalah tindakan pelepasan beban yang dilakukan secara otomatis ataupun manual untuk pengamanan operasi dari unit-unit pembangkit dari kemungkinan terjadinya padam total (*blackout*). Jika terjadi gangguan pada sistem yang menyebabkan besarnya suplai daya yang dihasilkan oleh pembangkit tidak mencukupi kebutuhan beban misalnya karena adanya pembangkit yang lepas (*trip*), maka untuk mencegah terjadinya ketidakstabilan sistem perlu dilakukan pelepasan beban (*load shedding*). Keadaan yang kritis pada sistem dapat dideteksi melalui frekuensi sistem yang menurun dengan cepat dan jika dibiarkan terus menerus akan menyebabkan sistem *collapsed*. Dengan dilakukan pelepasan beban diharapkan frekuensi dapat kembali stabil ke angka 50 Hz sebelum terjadinya padam total pada sistem pembangkitan. Pembagian jenis beban dalam pelepasan beban dilakukan berdasarkan beban prioritas dan beban non-prioritas [25].

### 2.5.1 Klasifikasi Pelepasan Beban

Pelepasan beban diklasifikasikan menjadi 2 yaitu pelepasan beban secara manual dan pelepasan beban otomatis.

Pelepasan beban manual dilakukan apabila laju penurunan frekuensi sangat rendah. Sehingga untuk memperbaiki frekuensi tidak membutuhkan waktu cepat karena sistem dirasa aman untuk jangka waktu yang cukup lama. Pelepasan beban secara manual ini akan membutuhkan beberapa operator yang cukup banyak, waktu yang dibutuhkan pun cukup lama bila dibandingkan dengan pelepasan beban otomatis [5].

Pelepasan beban otomatis dilakukan ketika laju penurunan frekuensi cukup tinggi. Dengan adanya pelepasan beban otomatis maka sistem secara keseluruhan dapat diselamatkan dengan cepat tanpa harus menunggu operator bekerja. Pelepasan beban otomatis biasanya didukung dengan peralatan *under frequency relay* [5]. Pelepasan beban otomatis pada sistem tenaga memberikan perlindungan awal dengan frekuensi rendah untuk generator turbin sistem. Rancangan program pelepasan beban ini harus untuk kondisi kelebihan beban maksimum yang mungkin dan memastikan bahwa beban yang cukup dicurahkan untuk dengan cepat mengembalikan frekuensi sistem hingga mendekati normal. Koordinasi skema pelepasan beban pada sistem dengan generator sangat penting untuk menjaga integritas sistem dan tidak boleh mengganggu keandalan sistem tenaga listrik [3].

### **2.5.2 Syarat Pelepasan Beban**

Sebelum dilakukan suatu pelepasan beban yang bertujuan untuk pemulihan frekuensi, pelepasan beban harus memenuhi beberapa kriteria antara lain [8]:

1. Pelepasan beban dilakukan secara bertahap dengan tujuan apabila pada pelepasan tahap pertama frekuensi belum dapat memulihkan frekuensi maka dapat dilakukan pelepasan beban tahap berikutnya untuk memperbaiki penurunan frekuensi.
2. Jumlah beban yang dilepaskan hendaknya seminimal mungkin sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik dalam memperbaiki penurunan frekuensi yang terjadi.
3. Pelepasan beban harus dilakukan tepat guna, maka dari itu harus ditentukan waktu tunda minimum rele untuk mendeteksi apakah penurunan frekuensi generator akibat beban lebih atau pengaruh lain seperti misalnya masuknya beban yang sangat besar ke dalam sistem

secara tiba-tiba sehingga pelepasan beban yang dilakukan tidak merugikan konsumen [5].

4. Beban yang dilepaskan adalah beban yang memiliki prioritas paling rendah dibandingkan beban lain dalam sistem tenaga listrik. Oleh sebab itu, seluruh beban terlebih dahulu diklasifikasikan menurut kriteria-kriteria tertentu. Adapun pembagian jenis beban dalam pelepasan beban dibagi menjadi beban prioritas dan beban non-prioritas. *Essential load* atau beban prioritas adalah beban yang dianggap penting ataupun beban yang menjadi penunjang tetap demi kenyamanan konsumen, sehingga apabila terjadi pemutusan atau gangguan akan menyebabkan konsumen menjadi tidak nyaman dan mengganggu aktifitas konsumen [26]. *Non-essential load* atau beban yang dianggap bukan sebagai prioritas, sehingga apabila terjadi pemutusan atau gangguan pada beban tersebut, tidak akan mempengaruhi aktifitas dan kenyamanan konsumen [13].

## 2.6 Jaringan Saraf Tiruan

Jaringan saraf tiruan merupakan implementasi dari teknologi *artificial intelligent*. Jaringan saraf tiruan adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan saraf biologi. Jaringan saraf tiruan dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan saraf biologi dengan asumsi bahwa [27]:

1. Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (*neuron*)
2. Sinyal dikirim diantara *neuron-neuron* melalui penghubung-penghubung antara *neuron* memiliki bobot yang memperkuat atau memperlemah sinyal
3. Untuk menentukan *output*, setiap *neuron* menggunakan fungsi aktivasi yang dikenakan pada jumlah *input* yang diterima. Besarnya *output* ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang.

Konsep jaringan saraf tiruan pada dasarnya diperkenalkan dari subjek biologi di mana jaringan saraf memainkan peran penting dan kunci dalam tubuh manusia. Dalam tubuh manusia pekerjaan dilakukan dengan bantuan jaringan saraf. *Neural network* hanyalah jaringan *neuron* yang saling terhubung yang jumlahnya

jutaan dan jutaan. Dengan bantuan *neuron* yang saling berhubungan ini semua pemrosesan paralel dilakukan dalam tubuh manusia dan tubuh manusia adalah contoh terbaik dari pemrosesan *parallel*. Pada dasarnya jaringan saraf tiruan adalah pendekatan rekayasa *neuron* biologis yang memiliki perangkat dengan banyak input dan satu *output*. JST terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan sederhana yang saling berhubungan satu sama lain dan juga berlapis [28].

### 2.6.1 Komponen Jaringan Saraf Tiruan

Dengan mengambil ide dari jaringan saraf manusia, komponen-komponen pada jaringan saraf tiruan adalah:

a. *Neuron Tiruan (Artificial Neuron)*

*Neuron* adalah unit pemroses informasi yang menjadi dasar dalam pengoperasian jaringan saraf tiruan dan semua proses perhitungan juga dilakukan di sini [29].

b. Lapisan (*Layer*)

JST disusun oleh sekumpulan *neuron* yang berhubungan dan dikelompokkan pada lapisan-lapisan (*layer*). Terdapat tiga lapisan yaitu lapisan *input*, lapisan tersembunyi (*hidden layer*) dan lapisan *output* [29].

c. Masukan (*Input*)

JST hanya dapat memproses data masukan berupa data numerik, sehingga apabila masalah melibatkan data kualitatif seperti grafik, gambar atau suara, data harus ditransformasikan dulu ke dalam data numerik yang ekuivalen sebelum dapat diproses oleh jaringan saraf tiruan [29].

d. Keluaran (*Output*)

Keluaran dari jaringan saraf tiruan adalah pemecahan terhadap masalah. Data keluaran merupakan data numerik [29].

e. Bobot (*Weight*)

Bobot (*Weight*), Bobot pada JST menyatakan tingkat kepintaran sistem. Walaupun sebenarnya bobot tersebut hanya sebuah deretan angka-angka saja, bobot sangat penting untuk jaringan Saraf tiruan, bobot yang optimal akan memungkinkan sistem menerjemahkan data masukan secara benar dan menghasilkan keluaran yang diinginkan [29].

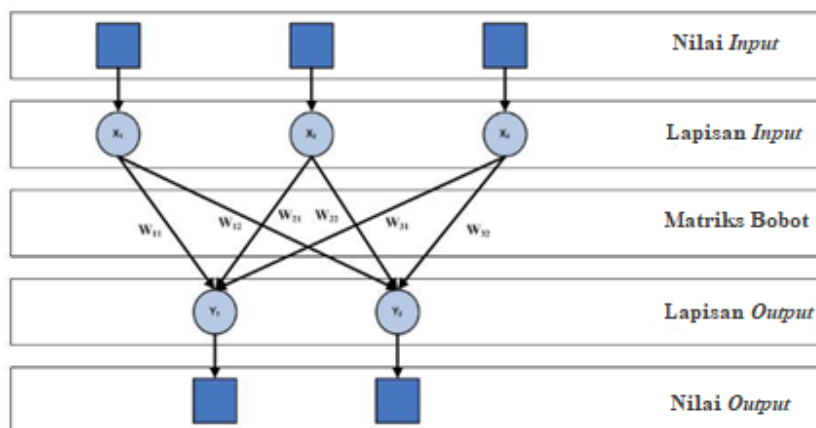
## 2.6.2 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab komponen jaringan saraf tiruan, bahwa *neuron* dikelompokkan dalam lapisan-lapisan. Pada umumnya, *neuron-neuron* yang terletak pada lapisan yang sama akan memiliki keadaan yang sama. Faktor terpenting dalam menentukan kelakuan suatu *neuron* adalah fungsi aktivasi dan pola bobotnya. Pada setiap lapisan yang sama, neuron-neuron akan memiliki fungsi aktivasi yang sama. Apabila *neuron-neuron* dalam suatu lapisan (misalkan lapisan tersembunyi) akan dihubungkan dengan *neuron-neuron* pada lapisan yang lain (misalkan lapisan *output*), maka setiap neuron pada lapisan tersebut (misalkan lapisan tersembunyi) juga harus dihubungkan dengan setiap lapisan pada lapisan lainnya (misalkan lapisan *output*) [29].

Ada beberapa arsitektur jaringan saraf tiruan, yaitu jaringan dengan lapisan tunggal (*single layer net*), jaringan dengan lapisan banyak (*multilayer layer net*), dan jaringan kompetitif.

### 1. Jaringan saraf dengan lapisan tunggal (*single layer net*)

Jaringan dengan lapisan tunggal hanya memiliki satu lapisan dengan bobot-bobot terhubung. Jaringan ini hanya menerima masukan kemudian secara langsung akan mengolahnya menjadi keluaran tanpa harus melalui lapisan tersembunyi (*hidden layer*).



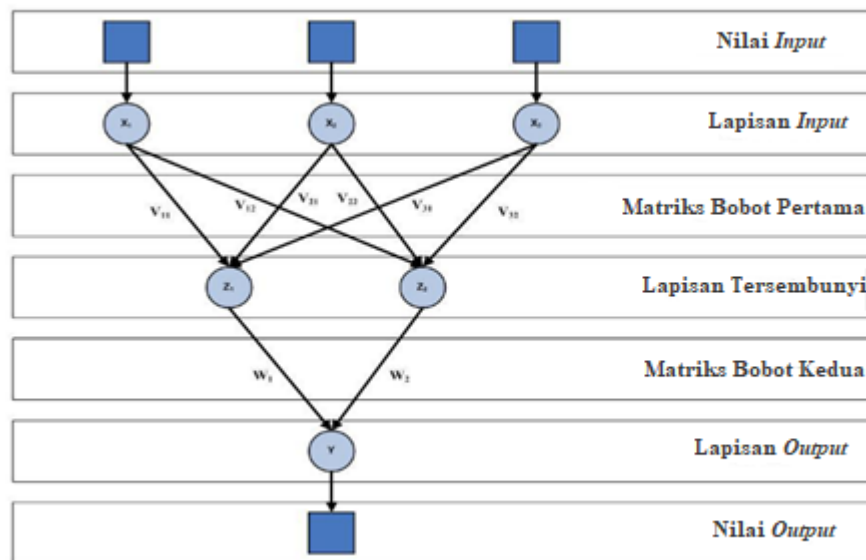
Gambar 2.4 Topologi Jaringan Lapis Tunggal [30]

Berdasarkan pada Gambar 2.4, ciri-ciri yang paling menonjol dari arsitektur jaringan saraf dengan lapisan tunggal adalah hanya terdiri dari

satu lapisan masukan dan satu lapisan keluaran, tanpa lapisan tersembunyi dan setelah lapisan keluaran didapatkan nilai keluaran[29].

## 2. Jaringan Dengan Banyak Lapisan (*Multi Layer Net*).

Jaringan dengan banyak lapisan memiliki satu atau lebih lapisan yang terletak diantara lapisan *input* dan lapisan *output* sering disebut lapisan tersembunyi (*hidden layer*). Struktur jaringan dengan memiliki banyak lapisan seperti Gambar 2.5 berikut.



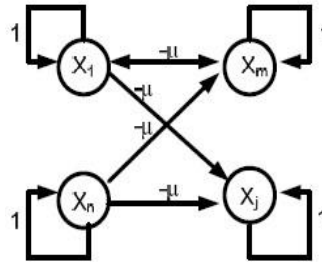
Gambar 2.5 Contoh Jaringan Dengan Banyak Lapisan (*Multilayer Net*) [30]

Berdasarkan Gambar 2.5 jaringan dengan banyak lapisan atau yang dikenal dengan *multilayer net* ini dapat menyelesaikan permasalahan yang lebih sulit dari pada lapisan dengan lapisan tunggal, tentunya dengan pembelajaran yang lebih rumit. Pada beberapa kasus, pelatihan pada jaringan ini lebih baik karena memungkinkan bagi jaringan untuk memecahkan masalah yang tidak dapat diselesaikan jaringan berlapis tunggal. Karena jaringan tidak dapat dilatih untuk menampilkan secara benar dengan demikian dan pada banyak kasus pembelajaran pada jaringan dengan banyak lapisan ini lebih sukses dalam menyelesaikan masalah [29].

## 3. Jaringan Saraf Dengan Lapisan Kompetitif (*Competitive Layer Net*)

Arsitektur jaringan saraf dengan lapisan kompetitif atau *competitive layer*

*net* ini memiliki bentuk yang berbeda jika dibandingkan dengan lapis tunggal atau *single layer net* dan jaringan dengan banyak lapisan atau *multilayer net*, dimana antar *neuron* dapat saling dihubungkan. JST digambarkan dengan mengadopsi nilai dasar jaringan saraf biologi sebagai berikut: menerima *input* atau masukan.



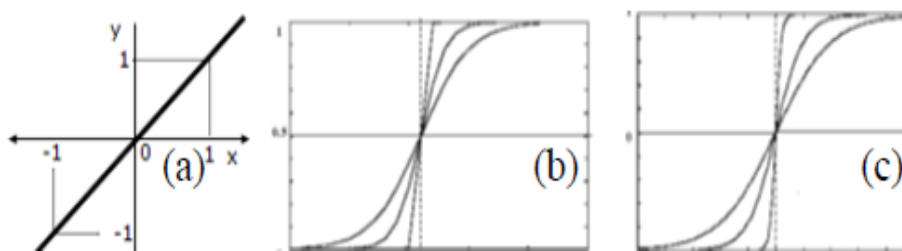
Gambar 2.6 Contoh Jaringan Saraf Dengan Lapisan Kompetitif [31]

Berdasarkan Gambar 2.6 pada arsitektur jaringan saraf tiruan dengan lapisan kompetitif, setiap *input* datang melalui suatu koneksi atau hubungan yang mempunyai suatu bobot (*weight*). Setiap sel saraf mempunyai sebuah nilai batas ambang (*threshold*) [31].

### 2.6.3 Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi merupakan bagian terpenting dalam tahapan perhitungan keluaran dari suatu algoritma jaringan Saraf tiruan. Fungsi aktivasi dapat diibaratkan sebagai pendefinisian penguatan non linier dalam sistem analog (*continue*). Penguatan (*gain*) ini dihitung dengan mencari rasio perubahan pada fungsi *output neuron* pada lapisan keluaran.

Fungsi aktivasi tidak hanya digunakan pada saat perhitungan nilai keluaran *neuron* saja, tetapi turunan pertamanya juga bisa untuk menghitung perubahan bobot dan bias pada proses belajar. Fungsi aktivasi dibagi menjadi beberapa jenis fungsi yang masing-masingnya berbeda satu sama lain. Beberapa fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan saraf tiruan dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Fungsi Aktivasi: (a) Fungsi Linier, (b) Fungsi Sigmoid Biner, (c) Fungsi Sigmoid Bipolar[28]

Berdasarkan Gambar 2.7 di atas, penjelasan fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan saraf tiruan adalah sebagai berikut:

a. Fungsi Linear

Fungsi linear memiliki nilai keluaran yang sama dengan nilai masukannya. Fungsi linear dirumuskan sebagai  $y=x$ . Pada MATLAB, fungsi aktivasi identitas dikenal dengan nama *purelin*.

b. Fungsi Sigmoid Biner

Fungsi sigmoid biner, ini digunakan untuk jaringan saraf yang dilatih dengan menggunakan metode *backpropagation*. Fungsi sigmoid biner memiliki nilai pada *range* 0 sampai 1. Oleh karena itu, fungsi ini sering digunakan untuk jaringan Saraf yang membutuhkan nilai *output* yang terletak pada interval 0 sampai 1. Namun, fungsi ini bisa juga digunakan oleh jaringan Saraf yang nilai *output* 0 atau 1. Pada MATLAB, fungsi aktivasi identitas disebut dengan *logsig*.

c. Fungsi Sigmoid Bipolar

Fungsi sigmoid bipolar hampir sama dengan fungsi *sigmoid biner*, hanya saja keluaran dari fungsi ini memiliki *range* antara -1 sampai 1 pada. Pada MATLAB, fungsi aktivasi identitas dikenal dengan nama *tansig* [29].

## 2.7 Learning Vector Quantization (LVQ)

*Learning Vector Quantization* (LVQ) merupakan jaringan lapisan tunggal (*single-layer net*) di mana lapisan masukan terkoneksi secara langsung dengan setiap neuron pada keluaran. Koneksi antar *neuron* tersebut dihubungkan dengan bobot atau *weight*. *Neuron-neuron* keluaran pada LVQ menyatakan suatu kelas atau



kategori tertentu. Bobot merupakan nilai matematis dari koneksi yang mentransfer data dari satu lapisan ke lapisan lainnya, yang berfungsi untuk mengatur jaringan sehingga dapat menghasilkan keluaran yang diinginkan. Bobot pada LVQ sangat penting, karena dengan bobot ini *input* dapat melakukan pembelajaran dalam mengenali suatu pola. Vektor bobot berfungsi untuk menghubungkan setiap *neuron* pada lapisan masukan dengan masing-masing *neuron* pada lapisan keluaran [28].

Jaringan Syaraf Tiruan terawasi (*supervised*) seperti LVQ (*Learning Vector Quantization*) adalah suatu metode klasifikasi pola yang masing-masing unit *output* mewakili kategori atau kelompok tertentu. Pemrosesan yang terjadi pada setiap neuron adalah mencari jarak terdekat antara suatu *vector* masukan ke bobot yang bersangkutan. Kelebihan metode ini adalah selain mencari jarak terdekat, selama pembelajaran unit *output* diposisikan dengan mengatur dan memperbaharui bobot melalui pembelajaran yang terawasi untuk memperkirakan keputusan klasifikasi [31].

## 2.8 Kajian Pustaka

Penelitian mengenai pelepasan beban telah banyak memanfaatkan kecerdasan buatan jaringan saraf tiruan untuk mengatur dan menentukan strategi pelepasan beban. Berikut adalah penelitian-penelitian yang dijadikan sumber referensi pada penelitian ini.

1. Penelitian menggunakan metode jaringan saraf tiruan untuk memperkirakan total ketidakseimbangan daya aktif sesuai dengan interval waktu penurunan frekuensi. Faktor regulasi frekuensi beban dan prioritas beban digabungkan ke dalam metode pelacakan aliran daya untuk memilih lokasi pelepasan beban dan menentukan jumlah pelepasan beban setiap beban. Metode baru diuji dalam sistem *8-machine 36-bus*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ketidakseimbangan daya aktif yang diperkirakan oleh metode jaringan saraf tiruan lebih akurat [4].
2. Penelitian menggunakan metode jaringan saraf tiruan untuk memprediksi jumlah pengurangan beban jaringan listrik Kinmen dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi di pulau lepas pantai. Untuk membuat kumpulan data pelatihan untuk model JST, analisis stabilitas transien dilakukan untuk menemukan pelepasan

beban untuk berbagai operasi beban. Dibandingkan dengan konvensional memuat skema pelepasan, metode yang diusulkan mengurangi jumlah pelepasan beban untuk operasi yang stabil dari sistem tenaga lepas pantai-pulau [12].

3. Penelitian ini memanfaatkan kombinasi metode *generalized regression neural network* dan *voltage electrical distance* untuk mengembalikan frekuensi sistem ke nilai dalam rentang yang diizinkan. Metode pelepasan beban yang diusulkan didasarkan pada jarak antara pemadaman generator dan node yang tersisa untuk memastikan stabilitas frekuensi sistem. Hasilnya, beban pada bus yang berada di dekat generator padam akan dilepas terlebih dahulu, kemudian beban berikutnya hingga sistem kembali stabil. Keefektifan metode yang diusulkan diuji pada Generator IEEE 39 Bus New England 10 [13].
4. Penelitian ini mengusulkan model baru pengendalian pelepasan beban berdasarkan kombinasi Jaringan Saraf Tiruan ganda untuk melaksanakan pelepasan beban, mengembalikan frekuensi dan mencegah pemadaman sistem tenaga. Jaringan Saraf Tiruan (JST1) pertama dengan cepat mengenali keadaan dengan atau tanpa pelepasan beban ketika terjadi korsleting pada sistem kelistrikan. Jaringan Saraf Tiruan (JST2) kedua mengidentifikasi dan mengontrol pemilihan strategi pelepasan beban. Jika JST1 menghasilkan pelepasan beban, strategi kontrol pelepasan beban segera diterapkan. Efektivitas metode yang diusulkan diuji pada sistem IEEE 39-bus [32].
5. Penelitian ini mengusulkan metode *under frequency load shedding* (UFLS) dengan menggunakan teknik optimasi jaringan saraf tiruan (JST) yang dikombinasikan dengan algoritma *particle swarm optimization* (PSO) untuk menentukan kapasitas pelepasan beban minimum. Teknik yang disarankan menggunakan algoritma *hybrid ANN-PSO* berfokus pada 2 tujuan utama yaitu menentukan apakah rencana pelepasan proses atau tidak dan distribusi daya pelepasan minimum pada setiap bus beban permintaan untuk mengembalikan frekuensi sistem kembali ke nilai yang dapat diterima. Dalam algoritma *hybrid ANN-PSO*, algoritma PSO bertanggung jawab untuk mencari bobot optimal dalam struktur jaringan saraf, yang dapat membantu mengoptimalkan pelatihan jaringan dalam hal kecepatan dan akurasi pelatihan. Keefektifan metode yang diusulkan diujicobakan dengan beberapa kasus pemadaman generator pada

berbagai tingkat beban dalam skema Bus IEEE-37 di mana kasus pelepasan beban dipertimbangkan dibandingkan dengan teknik tradisional lainnya [33].