

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Pengertian

2.1.1 Kampus Berwawasan Lingkungan

Kampus berwawasan lingkungan atau dikenal kampus hijau (*green campus*) merupakan kampus yang memiliki visi dan misi “*sustainability home*”. Seluruh komponen dan aktivitas civitas akademika yang berada di kawasan kampus memiliki basis ramah lingkungan. Oleh karenanya kampus hijau memiliki ciri yaitu :

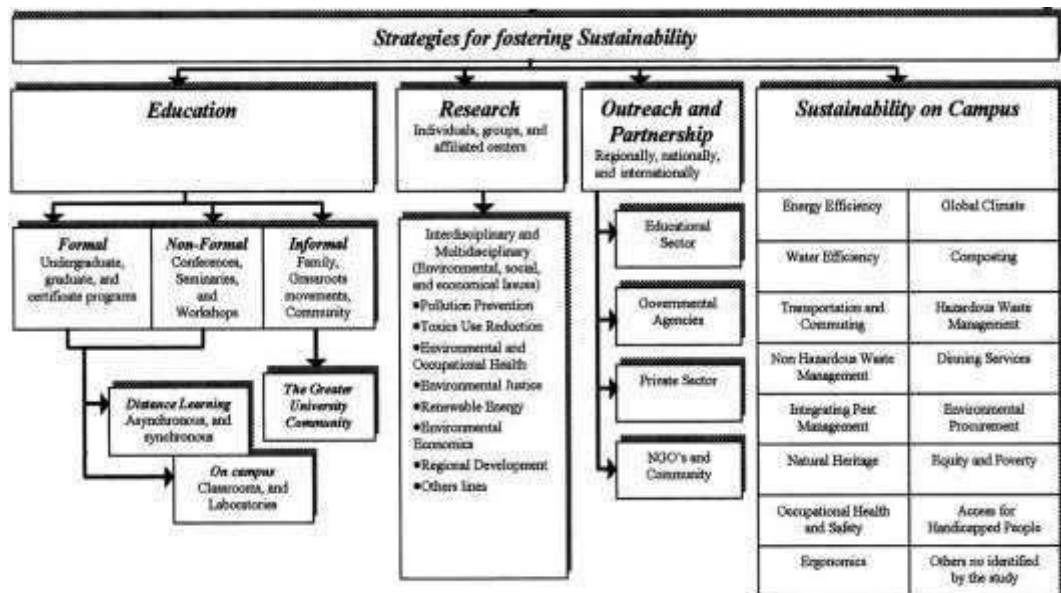
- a. Pendidikan berbasis lingkungan, bahwa di setiap jenjang program pendidikan (Diploma, Sarjana dan Pasca Sarjana), pada kurikulumnya memasukkan isu-isu *environmental sustainability*.
- b. *Recycling*, adanya kegiatan yang menunjang *what, how and where recycle* di kampus. Misal bagaimana di kampus bisa melakukan daur ulang plastik, logam, gelas, kertas, baterai, elektronik, lampu bekas, dan lainnya. Disamping itu kampus apakah memiliki tempat untuk daur ulang.
- c. *Students for Sustainability*, memiliki komunitas mahasiswa yang interes dengan kegiatan-kegiatan lingkungan.
- d. *Green campus*, terkait dengan *green living* yaitu transportasi ramah lingkungan, bangunan hijau, konservasi energi dan air serta pengelolaan limbah. (Tim Green Campus Rochester, 2015)
- e. Yos J Utama, P Purwanto, A Ambariyanto, (2017), menyimpulkan

- bahwa kondisi lingkungan kampus sangat mempengaruhi pada proses pembelajaran dan hasil yang dicapai oleh mahasiswa. Lingkungan yang bersih, sehat, dan nyaman akan memberikan dampak positif bagi para pemangku kepentingan di dalam kampus. Secara umum, masalah mendasar yang dihadapi oleh kampus- kampus di Indonesia berkaitan dengan kondisi lingkungan di kampus, produksi limbah dan polutan, serta penggunaan energi dan air. Universitas Diponegoro Semarang telah melakukan upaya pengembangan kampus ramah lingkungan, melalui perbaikan manajemen lingkungan, pengelolaan limbah dan polutan, serta mengurangi penggunaan energi dan air di kampus.
- f. Meng, Abidin, *et al.* (2014), menyatakan kampus yang berkelanjutan dapat diartikan sebagai kampus yang menjalankan dua sub-sistem dengan baik, yaitu ekosistem dan sistem manusianya. Sub-sistem ekosistem terdiri dari komponen material, udara, air, lahan, dan energi, sedangkan sub- sistem manusianya dibentuk dari pengetahuan, komunitas, kesehatan, kesejahteraan, dan kelembagaan.

SEKOLAH PASCASARJANA

Model *Sustainable University* telah dikembangkan oleh Luis

Velazquez, Nora Munguia, *et al.* (2006) sebagai berikut :



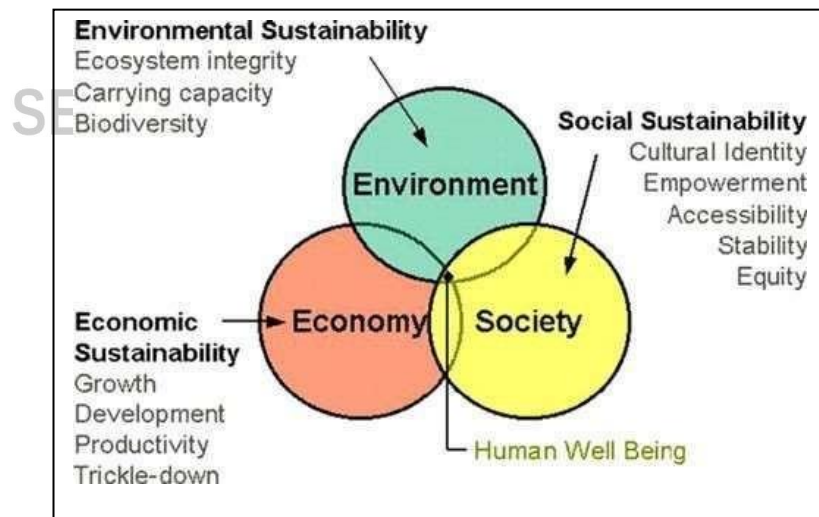
Gambar 2.1. Model *Sustainable University*

Senada dengan model tersebut *Centre for Environmental Research & Education* (CERE) India (2011), menjelaskan konsep green campus, yaitu bahwa kampus hijau merupakan tempat dimana praktik lingkungan dan pendidikan berjalan beriringan dan prinsip-prinsip yang bertanggung jawab terhadap lingkungan diwujudkan.. Hal ini menunjukkan bahwa komitmen terhadap keberlanjutan ekologis melalui: program akademik, penelitian, dan kehidupan kampus. Cara membuat *Green Campus* berhasil ditentukan adanya misi kampus hijau dengan menetapkan struktur organisasi *green campus* dan Tim yang mewakili mahasiswa, juga setiap departemen/jurusan yang ada. Selalu melakukan operasi harian terkait pencegahan polusi, pengelolaan sampah dan limbah, efisiensi energi, melakukan aktivitas *Reduce, Reuse, Recycle, Repairing*

sedapat mungkin.

Hal ini sejalan dengan Undang-undang No. 32 Tahun 2009 (pasal 1) yang menjelaskan bahwa –pembangunan berkelanjutan adalah upaya sadar dan terencana yang memadukan aspek lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi ke dalam strategi pembangunan untuk menjamin keutuhan lingkungan hidup serta keselamatan, kemampuan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan.

Hosein, A., Hoseini, G. *et.al.* (2013) menyatakan bahwa pada dasarnya konsep keberlanjutan di kampus adalah membangun melalui pendekatan holistik terhadap adaptasi terhadap masalah lingkungan, ekonomi dan sosial budaya dalam perancangan dan membangun evolusi arsitektur. Sebagaimana digambarkan berikut ini :



Gambar 2.2 Dasar Pembangunan Berkelanjutan

Faktor kunci utama keberlanjutan di kampus hijau mencakup

empat parameter utama yaitu pengurangan dampak lingkungan, penurunan tingkat pemanfaatan sumber daya, peningkatan utilitas, dan pemanfaatan pertimbangan ekonomi. Sumber daya mana yang digunakan secara bijak, perubahan iklim di mitigasi melalui karbon rendah strategi, strategi ekonomi melingkar mencegah limbah, dan polusi diminimalkan.

Salatin (2011), menyatakan untuk mewujudkan konsep seperti kampus ramah lingkungan, *eco-campus*, kampus hijau, kampus berkelanjutan, kampus konservasi atau istilah-istilah lainnya yang sebenarnya memiliki prinsip yang sama, yaitu berwawasan lingkungan, maka perlu didukung sepenuhnya oleh setiap civitas akademika yang ada di dalamnya. Kampus berkelanjutan mengacu pada asas pembangunan berkelanjutan berarti kampus tersebut harus dapat menyelaraskan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan sehingga tercipta kampus yang ramah lingkungan dan selalu tetap produktif dengan suasana kampus yang nyaman untuk beraktivitas.

Sedangkan Thomashow, M (2014), kampus berkelanjutan adalah kampus yang mengimplementasikan visi kawasan ekologis dengan teknologi, program, karakter, komunitas, yang mampu tercipta dan terbentuknya gaya hidup ramah lingkungan pada warga yang menjadi bagian dari kampus tersebut. Beberapa perguruan tinggi dunia yang tergabung dalam *International Sustainability Campus Network (ISCN)* berkomitmen untuk Bersama-

sama saling menerapkan prinsip keberlanjutan pada bidang penelitian, fasilitas, pengajaran, kegiatan sosial kemasyarakatan. Di masing-masing Perguruan Tinggi melakukan proyek seperti *zero waste, reuse, recycle, reduce*, efisiensi dan konservasi energi, transportasi internal ramah lingkungan, dan lainnya yang bertujuan untuk mengurangi emisi CO₂ yang menimbulkan pemanasan global.

2.1.2 Kampus hijau di luar negeri

Berdasarkan hasil pemeringkatan kampus hijau dari UI Green Metric tahun 2019 kampus ter hijau di dunia yaitu :

1. Wageningen University and Research, Belanda
2. University of Oxford, Inggris
3. University of Nottingham, Inggris
4. Nottingham Trent University, Inggris
5. University of California Davis, USA
6. Umwelt-Campus Birkenfeld, Jerman
7. University of Groningen, Belanda
8. Leiden University, Belanda
9. University College Cork, Irlandia
10. Universita di Bologna, Italy.

a. Universitas “Wageningen University and Research”

Universitas Wageningen University and Research (WUR) dinilai sebagai universitas paling hijau dan paling berkelanjutan di dunia. Wageningen University and Research masih menjadi perguruan tinggi hijau terbaik nomor satu dunia sejak 2017. Universitas ini memiliki keunggulan hampir pada seluruh kriteria

di UI GreenMetric bahkan memperoleh nilai maksimal pada empat kriteria, yaitu Pengelolaan Energi dan Perubahan Iklim (EC), Pengelolaan Limbah (WS), Pendidikan (ED), dan Pengelolaan Air (WR).

b. University of Oxford

University of Oxford menunjukkan keunggulannya pada Pengelolaan Energi dan Perubahan Iklim (EC) karena memiliki tiga sumber energi terbarukan, yaitu *Solar Cell*, *Geothermal*, *Combine Heat and Power* dan pengelolaan *smart-eco building* yang sudah mencapai lebih dari 75%. Selain itu, University of Oxford ini juga memiliki keunggulan pada Pengelolaan Limbah (WS) dan Pengelolaan Air (WR).

c. University of Nottingham, Inggris

Kampus University of Nottingham beralamat di Lenton Lane Nottingham, NGR 2NR, United Kingdom. Universitas ini diberikan penghargaan sebagai kampus hijau di dunia, karena memiliki komitmen yang sangat tinggi dalam bidang lingkungan. Memiliki keanekaragaman hayati di kebun kampus ruang terbuka hijau yang luas. Bangunan dengan arsitektur *green building*. Kampus ini dibangun di bekas situs industri dirubah menjadi lingkungan yang hijau. Berbagai program sarjana maupun pascasarjana di universitas berbasis isu-isu lingkungan. Memiliki kurikulum terkait dengan lingkungan. Kegiatan komunitas mahasiswa difokuskan ke masalah lingkungan.

Transportasi internal kampus melalui pelayanan moda bus ramah lingkungan (rendah karbon) dan bersepeda. Jaringan jalan dibuat untuk pejalan kaki dan sepeda sehingga nyaman berkeliling kampus. Universitas melakukan upaya yang terus menerus mendukung kinerja lingkungan dan bekerjasama dengan organisasi atau badan-badan lingkungan. Limbah dan sampah dikelola melalui model daur ulang seperti kaleng, kertas, kaca dan plastik, limbah makanan, pakaian, tabung neon dan baterai tinta.

d. Nottingham Trent University

Memiliki program-program penelitian unggul untuk mendukung 17 program *Sustainable Development Goals (SDGs)*. Melalui pendidikan menyiapkan sumber daya yang memiliki kemampuan menghadapi perubahan iklim, seperti strategi mencegah limbah, dan polusi.

e. University of California Davis

UC Davis memiliki keunggulan bidang transportasi, termasuk penggunaan bus dan sepeda di kampus, mendapatkan nilai sempurna dalam kategori limbah, untuk pengurangan sampah dan daur ulang limbah. Kriteria lain termasuk energi terbarukan (terutama, UC Davis menghasilkan 14 persen pasokan listriknya dari modul surya yang terletak di selatan Interstate, dan efisiensi energi dan konservasi air di kampus.

Peringkat tersebut juga melihat penerapan *green building* di UC Davis yang memiliki 23 proyek *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)* dan juga komunitas energi zero-net

terbesar yang direncanakan di negara ini, West Village. Akhirnya, di bidang pendidikan, seperti penelitian dengan tema besar keberlanjutan, kuliah terkait konservasi dan sejumlah *short course* terkait dengan keberlanjutan yang dilakukan di kampus.

2.2 Ekologi Energi

Peningkatan jumlah penduduk dunia yang diperkirakan 78 juta orang per tahun, terutama di wilayah Afrika, Asia Selatan dan Asia Barat, akan memicu pemenuhan kebutuhan termasuk kebutuhan energi. Sehingga adanya hubungan yang signifikan antara penambahan manusia di bumi dengan semakin bertambahnya konsumsi energi.

Ekologi energi mempelajari peran dan hubungan energi dalam kehidupan umat manusia. Beberapa aspek yang terkait dengan ekologi energi adalah : (a) masalah pemanfaatan sumber-sumber energi (batu bara, minyak bumi, gas alam; (b) dampak terhadap lingkungan (pemanasan global, emisi, radiasi dan polusi medan listrik); (c) Upaya pengendalian karbon dioksida dan gerakan konservasi energi (Mukhlis Akhmadi, 2009)

2.3 Aspek-aspek yang berpengaruh terhadap Konsumsi

Energi di Bangunan Gedung

2.3.1 Data Cuaca /Iklim

Kondisi cuaca yang berfluktuasi memainkan peran penting dalam membangun konsumsi energi. Beberapa penelitian Xiang, C.; Zhe, T. (2013) dan Chand, S. (2016) telah menyelidiki efek

perubahan cuaca pada pembangunan konsumsi energi. Penelitian Amber, K.P., Aslam, M.W., *et al.* (2015) menjelaskan efek dari empat variabel cuaca, yaitu suhu sekitar, radiasi global, kelembaban dan kecepatan angin pada penggunaan listrik berbagai bangunan. Diantara empat variabel suhu di sekelilingnya ditemukan sebagai parameter kritis yang berpengaruh terhadap konsumsi energy pada bangunan. Penelitian Braun, M.R.; Beck, S.B *et al.* (2014) menemukan bahwa diantara suhu dan kelembaban luar ruang sebelumnya berperan dominan dalam membangun konsumsi energi. Memperhatikan pada penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik dipengaruhi adanya variabel iklim atau cuaca.

2.3.2 Okupansi /Tingkat Hunian Bangunan

Al-Garni, *et al.* (1994), menjelaskan bahwa variabel populasi penghuni (*occupancy*), ditemukan kelembaban relatif dan radiasi matahari global sebagai faktor kritis sehingga menjadi variabel pendorong utama meningkatnya konsumsi energi bangunan

Studi oleh A Selvacanabady, K Judd. (2017), menemukan bahwa kenaikan intensitas konsumsi energi atau *energy use intensity* (EUI) di bangunan gedung disumbang oleh kepadatan penghuninya. Definisi hunian yang digunakan untuk analisis ini didasarkan pada konsep penuh waktu (*full time*) dalam sehari beraktivitas di gedung. Hal ini diteliti berdasarkan rekomendasi *Green Building Advisory Committee* (GBAC) selama tahun 2016 dan memperoleh dukungan

Program Manajemen Energi Federal Departemen AS (DOE).

Tiina Sekki, Miimu Airaksinen, *et al.* (2015) menyimpulkan bahwa faktor penggunaan bangunan (*useage building*) dan hunian bangunan (*occupancy*) mempengaruhi konsumsi energi yang diukur di pusat penitipan anak dan bangunan sekolah Finlandia. Studi ini mengadopsi indikator efisiensi energi yang ada dan memperkenalkan indikator baru untuk membangun efisiensi energi yang memperhitungkan efisiensi ruang dan hunian.

Yang-Seon Kim, Jelena Srebric, *et al.* (2015) menemukan hasil penelitian sekitar 10% hingga 40% energi dapat dihemat, jika ada / tidaknya penghuninya diperhitungkan dalam operasi pembangunan berdasarkan selusin studi kasus yang dilakukan secara komersial bangunan. Dua gedung kampus, CB1 dengan 0,3 kW / orang dan CB2 dengan 0,2 kW / orang, serta satu gedung kantor tambahan, OB1 dengan 1,0 kW / orang, berfungsi sebagai situs pengumpulan data untuk tingkat hunian dan konsumsi listrik. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua total konsumsi listrik ($R^2 = 50\% - 80\%$) dan beban plug ($R^2 = 70\% - 80\%$) secara signifikan berkorelasi dengan tingkat hunian di bangunan. Studi ini juga menemukan bahwa dampak penghuni terhadap listrik gedung konsumsi berbanding lurus dengan distribusi penggunaan area bangunan. Temuan ini didukung pengembangan persamaan linear untuk memperkirakan dampak penghuni yang dinormalisasi terhadap listrik konsumsi dalam kW / orang. Untuk gedung kampus ketiga, CB3, dipakai sebagai gedung

demonstrasi. Konsumsi listrik dihitung dengan persamaan linier yang sebelumnya dikalibrasi memperkirakan kW / orang ke dalam 7% dari yang sebenarnya diukur 0,53 kW / orang. Konsumsi listrik per penghuni mewakili ukuran yang tepat dan dapat digeneralisasi dampak banyaknya penghuni pada konsumsi listrik gedung. Sehingga berdasarkan penelitian-penelitian tersebut untuk peramalan terhadap konsumsi energi listrik di bangunan gedung kampus masa depan variabel okupansi sangat dipertimbangkan.

2.4 Perubahan Iklim dan Emisi CO₂

2.4.1 Perubahan iklim

Perubahan iklim ialah perubahan iklim yang diakibatkan secara langsung maupun tidak langsung oleh karena aktivitas manusia sehingga menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan selain itu juga berupa perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat diperbandingkan. (UU No.32 tahun 2009). Perubahan iklim (*climate change*) dunia menjadi tantangan yang serius yang dihadapi dunia saat ini. Banyak ahli lingkungan sepakat bahwa terjadinya perubahan iklim merupakan salah satu akibat dari pemanasan global. Pemanasan global (*global warming*) menjadi isu internasional yang dewasa ini banyak mendapat sorotan dari berbagai kalangan. Pemanasan global bisa terjadi oleh adanya efek rumah kaca. Gas rumah kaca yang berada di atmosfer bumi dapat disamakan dengan tabir kaca pada pertanian yang menggunakan

rumah kaca. Permasalahan timbul apabila konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer makin bertambah. Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca, menjadi penyebab semakin besar panas yang ditahan dipermukaan bumi dan akan mengakibatkan suhu di permukaan bumi meningkat. Meningkatnya temperatur udara tersebut akan mengakibatkan adanya perubahan iklim ekstrim di bumi. Perubahan suhu udara terjadi pula di kawasan timur kampus UNNES desa Sekaran Gunungpati Semarang. Sebelumnya udara masih terasa sejuk sekarang berubah menjadi lebih panas.

Gas rumah kaca akibat emisi antropogenik berasal dari beberapa sumber ditinjau dari beberapa sektor, yaitu sektor energi: pemanfaatan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas secara berlebihan dalam berbagai kegiatan merupakan penyebab utama dilepaskannya emisi gas rumah kaca ke atmosfer. Pembangkit listrik, penggunaan alat-alat elektronik seperti AC, TV, lampu, pendingin/kulkas, komputer, penggunaan kendaraan bermotor dan kegiatan industri merupakan contoh kegiatan manusia yang meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer.

2.4.2 Emisi CO₂

Diketahui bahwa –faktor emisil merupakan nilai rerata suatu parameter pencemar udara yang ditimbulkan oleh sumber spesifik. Faktor tersebut biasanya dinyatakan sebagai Berat Polutan dibagi dengan satuan jarak, berat, volume, atau lamanya aktivitas yang bisa menghasilkan polutan.

Diperolehnya variasi tersebut, menimbulkan ekspresi faktor emisi dengan unit yang berbeda. Emisi CO₂ pada penelitian ini adalah emisi CO₂ dari aspek energi listrik yang diakibatkan penggunaan konsumsi energi listrik di bangunan gedung kampus timur Unnes. Emisi CO₂ yang diperoleh dari kegiatan penghuni gedung dapat dikategorikan menjadi dua yaitu emisi langsung dan emisi tidak langsung. Emisi CO₂ langsung diperoleh dari konsumsi bahan bakar dan Bahan Bakar minyak (BBM) kendaraan bermotor dalam aktifitas di kampus, Adapun emisi yang ditimbulkan oleh konsumsi energi listrik di bangunan gedung kampus termasuk emisi CO₂ tidak langsung Bahan bakar yang digunakan adalah LPG sedangkan bahan bakar kendaraan bermotor yang digunakan adalah bensin dan solar. Untuk menghitung emisi CO₂ masing-masing bahan bakar digunakan perhitungan yang berbeda.

2.4.3 Emisi CO₂ tidak langsung atau Emisi Sekunder

Emisi CO₂ = EF x konsumsi listrik

Keterangan :

EF : Emission Factor CO₂ listrik (satuan massa/MWh)

Emisi CO₂ : Jumlah emisi CO₂ (kg)

Emisi sekunder diperoleh dari peralatan- peralatan elektronik kantor yang mengkonsumsi daya listrik. Persamaan yang dipergunakan menghitung jumlah emisi CO₂ sekunder yaitu dengan mengalikan ‘faktor emisi’ sekunder dengan besarnya daya yang dikonsumsi di setiap gedung per bulannya. Faktor emisi karbon berasal dari

konsumsi energi listrik dihitung berdasarkan penyediaan produksi listrik oleh pembangkit listrik terdapat pada panduan metode ACM 002 dengan persamaan sebagai berikut :

$$EF = SFC \times NCV \times CEF \times \text{Oxid} \times 44/12$$

Keterangan :

EF : Faktor emisi CO₂

SFC : Specific Fuel Consumption

NCV : Nilai Net Calorific Volume (Energy content) per unit massa atau volume bahan bakar (TJ/Ton Fuel)

CEF : Carbon Emission Factor (Ton CO₂/TJ)

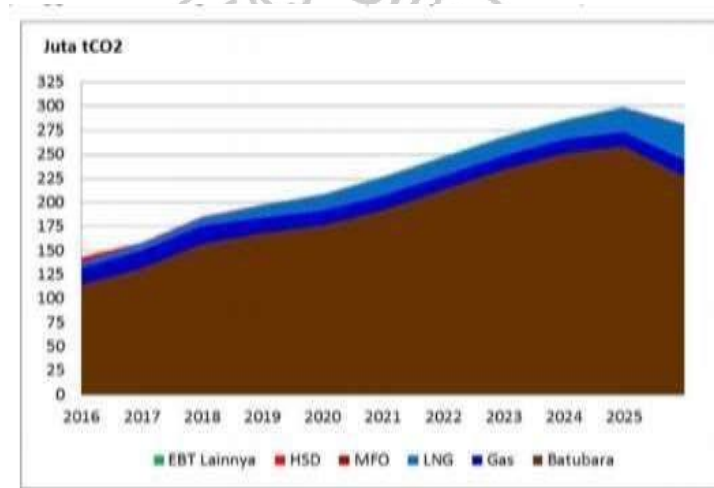
Oxid : Oksidator factor

Nilai SFC, NCV, CEF dan oksidator faktor berbeda-beda Pada setiap jenis pembangkit listrik dan bahan bakar yang digunakan berbeda-beda oksidator faktor nya. . Pada penelitian ini digunakan faktor emisi sekunder berdasarkan Emisi CO₂ Sistem Jawa Bali, sebagai berikut :

2.4.4 Emisi CO₂ Sistem Kelistrikan Jawa-Bali

Proyeksi emisi CO₂ dari sistem Jawa Bali ditunjukkan pada gambar 2.5. Emisi akan meningkat 1,8 kali lipat dari 158 juta ton pada tahun 2016 menjadi 283 juta ton pada tahun 2025. Grid *emission factor* akan meningkat dari 0,854 kgCO₂/kWh pada tahun 2016 menjadi 0,871 kgCO₂/kWh pada tahun 2022 karena banyak beroperasinya PLTU dan terlambatnya pengembangan PLTP dan PLTA, serta berkurangnya pasokan gas untuk pembangkit. Akan

tetapi selanjutnya akan menurun hingga 0,759 kgCO₂/kWh pada tahun 2025 karena kontribusi positif dari pemanfaatan gas,air, panas bumi dan sumber energi baru terbarukan (EBT) lainnya serta penggunaan teknologi batubara bersih (misalnya PLTU ultra super critical/USC).



Gambar 2.3 Proyeksi emisi

Faktor Emisi per Tahun ditunjukkan pada Tabel 2.1 di bawah ini

Tabel 2.1 Faktor Emisi CO₂ Jawa Bali per tahun

Tahun	FE (kgCO ₂ /kWh)
2016	0,854
2017	0,854
2018	0,854
2019	0,854
2020	0,854
2021	0,854
2022	0,871
2023	0,871
2024	0,871
2025	0,759

(sumber : RUPTL PT.PLN Tahun 2016 s.d 2025)

2.5 Hubungan Prakiraan Energi Listrik dengan Emisi CO₂

Emisi sekunder yang ditimbulkan dari penggunaan peralatan elektronik / listrik di kantor atau gedung kampus yang mengkonsumsi daya listrik. Cara menghitung besarnya emisi CO₂ sekunder yaitu besarnya faktor emisi sekunder dikalikan dengan besarnya daya listrik yang dikonsumsi peralatan listrik setiap gedung per bulannya. Dalam RUPTL PLN dijelaskan besarnya ‘faktor emisi karbon’ dari penyediaan produksi listrik oleh pembangkit listrik setiap tahunnya. Berdasarkan penjelasan tersebut di atas maka besarnya jumlah emisi karbon diperoleh dari hasil prakiraan konsumsi listrik yang dihitung menggunakan model *JST Backpropagation* pada periode tahun tertentu dikalikan dengan faktor emisi CO₂ per tahunnya sesuai Tabel 2.1.

2.6 Bangunan Gedung di Kampus Hijau

Bangunan gedung di kampus hijau idealnya merupakan bangunan hijau (*green building*). Bangunan hijau (*green building*) dimaksud ialah bangunan yang direncanakan guna mengurangi dampak lingkungan terhadap kesehatan manusia dan alam, melalui cara : efisiensi penggunaan energi, air dan sumber daya lain; melindungi kesehatan penghuni, meningkatkan produktifitas pekerja; mereduksi limbah / buangan padat, gas dan cair, mengurangi pencemaran cair, padat dan gas serta mengurangi kerusakan lingkungan. Untuk menilai bahwa sebuah bangunan termasuk *green building* atau tidak, harus memenuhi syarat dari lembaga akreditasi bangunan hijau. Di

Indonesia, Lembaga Konsil Bangunan Hijau Indonesia atau Green Building Council Indonesia (GBCI) mengeluarkan ‘Sertifikat’ bangunan hijau dan disebut Greenship. GBCI adalah lembaga mandiri (*non-government*) yang berkomitmen terhadap penerapan ‘konsep bangunan hijau’ serta memfasilitasi transformasi industri bangunan global yang berkelanjutan. GREENSHIP disusun oleh GBCI dengan mempertimbangkan karakter alam, kondisi, standar, dan peraturan yang berlaku di Indonesia.

Terdapat 6 (enam) kategori yang digunakan sebagai dasar untuk penilaian *green building* yaitu :

Tabel 2.2 Kategori penilaian Green building dari GBCI

No	Kategori	Persentase dari total point
1	ASD (Appropriate Site Development)	11,65
2	EEC (Energy Efficiency & Conservation)	13,59
3	WAC (Water Conservation)	7,77
4	MRC (Material Resource and Cycle)	27,18
5	IHC (Indoor Air Health and Comfort)	28,16
6	BEM (Building and Environment Management)	11,65
Total		100

Adapun kategori yang terkait dengan konservasi energi di bangunan kampus hijau adalah kategori *Energy Efficiency and Conservation* dengan kriteria penilaian sebagai berikut :

a. *Energy Conservation Campaign*

Guna menciptakan kesadaran melakukan konservasi energi di kampus. Melalui indikator pilihan : (1) Tersedianya pernyataan tertulis yang mencakup komitmen dan persetujuan dari manajemen puncak/eksekutif, untuk melakukan berbagai tindakan dalam konservasi energi, (2) Kampanye konservasi energi, seperti: stiker, poster, e-mail, (3) Kebijakan kelembagaan dalam bentuk pembentukan tim/satuan tugas personil yang bertanggung jawab atas penghematan energi, beserta uraian tugasnya.

b. Simple Comisioning

Untuk mencapai penghematan energi' dengan melakukan uji coba dan *commissioning*/persiapan menuju sistem yang kritis di dalam bangunan gedung. *Commissioning* adalah rangkaian proses berkesinambungan untuk memastikan bahwa semua sistem dan komponen gedung/pabrik telah didesain, dipasang, diperiksa, akan dioperasikan serta dipelihara sesuai kebutuhan _operasional' pemilik atau klien akhir yang telah dituangkan dalam perencanaan dengan cara membuktikan kinerjanya.

Penilaiannya melalui indikator pilihan : (1) Melakukan pengujian dan *commissioning*' mandiri pada sistem pendingin yang terintegrasi dengan bangunan utama, pencahayaan, peralatan listrik di area konsumen/pengguna. (2) Memilih bangunan yang secara rutin melakukan Testing dan Commissioning dan permintaan untuk hasil Testing dan Commissioning.

1. MVAC Control

Untuk melakukan penghematan energi pada sistem MVAC (*Mechanical Electrical Ventilation Air Condition*). Indikator pilihan :

(1) Memilih bangunan yang menggunakan sistem penyejuk udara dengan efisiensi standar maksimum, (2) Pilih atau lengkapi sistem AC dengan kontrol yang canggih untuk efisiensi energi

2. *Lighting Power Density and Control*

Menciptakan kesadaran akan pentingnya penghematan energi. Indikator pilihan : (1) Membuat penghematan 20% pada sistem pencahayaan dengan daya pencahayaan yang lebih efisien daripada daya pencahayaan total, seperti tercantum pada SNI 03 6197-2000 Konservasi Energi dalam Sistem Tata Cahaya. (2) Membuat penghematan 40% pada sistem penerangan dengan daya pencahayaan yang lebih efisien dari daya pencahayaan total, seperti tercantum dalam SNI 03 6197- 2000 Konservasi Energi dalam Sistem Pencahayaan. (3) Melakukan 'penghematan' 60% pada sistem penerangan dengan daya pencahayaan yang lebih efisien dari daya pencahayaan total, seperti yang tercantum dalam SNI 03 6197-2000 Konservasi Energi dalam Sistem Pencahayaan. Menggunakan ballast elektronik 100%. (4) Memenuhi tolok ukur 2A dan menggunakan sensor pencahayaan terintegrasi dan/atau sensor hunian terpadu dan/atau kontrol individual untuk menghemat energi.

3. *Energy Monitoring and Control*

Bertujuan untuk mendukung prosedur pemantauan, pencatatan dan pengendalian konsumsi energi. Indikator pilihan : (1) Mencatat pemantauan dan pendataan bulanan reguler pada kWh meter minimal selama 3 bulan terakhir. (2) Mendata penggunaan energi dalam bentuk Energy Display yang diletakkan di tempat umum yaitu area yang

dapat diakses oleh semua penghuni bangunan.

4. *Electrical Equipment and Appliances*

Bertujuan mendorong hemat energi, penggunaan peralatan listrik melalui indikator pilihan : (1) Menggunakan peralatan listrik berlabel "hemat energi", minimal 25% dari daya (Watt) keseluruhan peralatan listrik. (2) Memakai alat-alat listrik berlabel "hemat energi" minimal 50% dari daya (Watt) keseluruhan peralatan listrik. (3) Menggunakan peralatan listrik berlabel "hemat energi" minimal 75% dari total daya (Watt) peralatan listrik.

Contoh Bangunan Hijau pada gedung pemerintah yaitu gedung Kementerian Pekerjaan Umum yang baru telah menerapkan dan memperoleh sertifikat *Platinum* dari GBCI. Dijelaskan pada gedung tersebut mempunyai Indeks Konsumsi Energi (IKE) 155kWh/m².th, Estimasi penghematan energi sebesar 95 kWh/m.th (menghemat 35%), penghematan karbon 1.650 ton/tahun. Pada gedung PU juga mampu menghemat konsumsi air 83% saat musim hujan dan 61% saat kemarau. Pada tahun 2015 sekitar 8 bangunan yang menerapkan 'Green Building'. Lima gedung diantaranya adalah bangunan baru, yaitu gedung Kementerian PU, Institut Teknologi & Science Bandung Deltamas, Perkantoran Dahana Subang, Kampus Prasetya Mulya, dan Kuningan Tower. Sementara tiga lainnya adalah bangunan lama yang kemudian direvitalisasi dengan green building, yaitu Grand Indonesia-BCA Tower, Sampoerna Strategic Square, dan German Centre BSD. (ciptakarya.pu.go.id, 2015)

2.7 Kampus hijau Universitas Negeri Semarang

Universitas Negeri Semarang (UNNES) dikenal sebagai kampus hijau dan dikukuhkan sebagai kampus berwawasan konservasi oleh Menteri Pendidikan Nasional RI Muhammad Nuh pada tanggal 12 Maret 2010. Sebagai kampus hijau Unnes berupaya dalam melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi berdasarkan visi berwawasan lingkungan dan konservasi. Beberapa kebijakan internal kampus terkait kampus hijau dituangkan pada Peraturan Rektor, yaitu (1) Peraturan Rektor Unnes No. 22 Tahun 2009 tentang Unnes sebagai Universitas Konservasi; (2) Peraturan Rektor Unnes No. 26 Tahun 2009 tentang Gerakan Penanaman; (3) Peraturan Rektor Unnes No. 27 Tahun 2012 tentang Tata Kelola Kampus meliputi konservasi keanekaragaman hayati, arsitektur hijau dan system transportasi internal, pengelolaan limbah, kebijakan nirkertas, energi bersih, konservasi etika, seni dan budaya, kaderisasi konservasi; (4) Peraturan Rektor Unnes No. 20 Tahun 2013 tentang Kewajiban Mahasiswa Baru Membawa Bibit Tanaman; (5) Peraturan Rektor Unnes No. 21 tahun 2019 tentang Larangan penggunaan plastik sekali pakai di kampus Unnes; (6) Peraturan Rektor No. 11 Tahun 2020 tentang Sistem Transportasi Internal Ramah Lingkungan di Kampus Unnes.

2.8 Manajemen Energi

Manajemen Energi diatur pada Permen ESDM No. 13 dan No. 14 tahun 2012. Berdasarkan Permen ESDM No. 13 tahun 2012 pasal 2

tentang Penghematan Pemakaian Tenaga Listrik' menyatakan bahwa ruang lingkup penghematan pemakaian tenaga listrik meliputi : (a) Bangunan Gedung Negara, (b) Bangunan Gedung BUMN, BUMD, dan BHMN; (c) Rumah Tinggal Pejabat; dan (d) Penerangan jalan umum, papan reklame dan lampu hias.

Peraturan Menteri ESDM No. 14 tahun 2012 tentang *Manajemen Energi* menjelaskan bahwa Pengguna Sumber Energi dan Pengguna Energi yang menggunakan sumber energi dan/atau energi lebih besar atau sama dengan 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun wajib melakukan manajemen energi. (pasal 3). Sedang pada pasal 4, menitik beratkan untuk pengguna sumber energi atau pengguna energi yang kurang dari 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun disarankan untuk melaksanakan Manajemen Energi dan/atau melaksanakan penghematan energi. Adapun langkah-langkah Manajemen Energi (pasal 5) meliputi pelaksanaan :

(1) menunjuk Manajer Energi, (2) menyusun program Konservasi Energi, (3) melaksanakan Audit Energi secara berkala, (4) melaksanakan rekomendasi hasil audit energi, dan (5) melaporkan pelaksanaan Manajemen Energi setiap tahun kepada Menteri, Gubernur, atau Bupati/Walikota sesuai dengan kewenangannya.

Program Konservasi Energi sebagaimana dimaksud pasal 5 meliputi : a). program jangka pendek, yaitu perbaikan prosedur operasi, pemeliharaan dan pemasangan alat-alat kendali sederhana; b). program jangka menengah dan panjang, yaitu peningkatan efisiensi

peralatan dan *fuel switching*; c) peningkatan kesadaran dan pengetahuan teknik konservasi energi bagi karyawan dan operator secara terus-menerus. Pelaksanaan Konservasi Energi atau Penghematan Energi oleh pengguna sumber energi dan pengguna energi sebagaimana pasal 4 dilakukan pada : (a) sistem tata udara, (b) sistem tata cahaya, (c) peralatan pendukung, (d) proses produksi, dan/atau (e) peralatan pemanfaatan energi utama.

Pelaksanaan konservasi energi / penghematan energi (pasal 13) melalui

A. Penghematan Sistem Tata Udara dilakukan dengan cara : Pada bangunan Gedung Negara serta bangunan Gedung BUMN, BUMD, dan BHMN, jika menggunakan AC dilakukan dengan cara :

1. mengaplikasikan AC hemat energi (berteknologi inverter) dengan daya sesuai luas ruangan;
2. memakai *refrigerant* jenis hidrokarbon;
3. meletakkan unit kompresor AC pada lokasi yang tidak terkena langsung sinar matahari;
4. mematikan AC apabila ruangan tidak digunakan;
5. memasang *thermometer* ruangan untuk memantau suhu ruang;
6. mengatur kelembaban relative dan suhu sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) yaitu :
 - a) ruang kerja dengan pengaturan suhu berkisar antara 24 °C hingga 27 °C dengan kelembaban relative antara 55% sampai dengan 65%.

- b) ruang transit (lobby, koridor) dengan suhu antara 27 °C hingga 30 °C dengan kelembaban relative antara 50% hingga 70%
7. Mengoperasikan AC sentral :
- a) 30 menit sebelum jam kerja unit fan AC dinyalakan, satu jam kemudian kompresor AC dihidupkan;
 - b) 30 menit sebelum jam kerja berakhir unit kompresor AC dimatikan, pada saat jam kerja berakhir unit fan AC dimatikan;
8. Memastikan tidak adanya udara luar, masuk ke dalam ruangan ber AC yang mengakibatkan efek pendingin berkurang;
9. Melakukan *maintenance* secara berkala sesuai panduan pabrik;
10. Menggunakan jenis kaca tertentu yang bisa mengurangi panas matahari yang masuk ke dalam ruangan namun tidak mengurangi pencahayaan alami;
11. Mengurangi suhu udara pada atau sekitar gedung dengan cara kegiatan penanaman tumbuhan serta pembuatan kolam air.
- B. Penghematan pemakaian energi listrik melalui Tata Cahaya dilakukan dengan cara :
- a) Menggunakan lampu hemat listrik sesuai peruntukannya;
 - b) Mengurangi penggunaan lampu hias (*accessories*)
 - c) Ballast elektronik diterapkan pada lampu TL (*neon*)
 - d) Pengaturan daya listrik maksimum untuk pencahayaan (termasuk rugi-rugi ballast) sesuai SNI untuk :
 - 1). Ruang Resepsionis 13 Watt/m² dengan tingkat

pencahayaan paling rendah 300 lux;

- 2) Ruang Kerja 12 Watt/m² dengan tingkat pencahayaan paling rendah 350 lux;
- 3) Ruang Rapat, ruang Arsip aktif 12 Watt/m² dengan tingkat pencahayaan paling rendah 300 lux;
- 4) Gudang Arsip 6 Watt/m² dengan tingkat pencahayaan paling rendah 150 lux;
- 5) Ruang Tangga Darurat 4 Watt/m² dengan tingkat pencahayaan paling rendah 150 lux;
- 6) Tempat Parkir 4 Watt/m² dengan tingkat pencahayaan paling rendah 100 lux;
- 7) Memakai rumah lampu (*armature*) reflector yang memiliki pantulan cahaya tinggi;
- 8) Mengatur Saklar berdasarkan kelompok area, sehingga sesuai dengan pemanfaatan ruangan;
- 9) Menggunakan Saklar Otomatis dengan menggunakan pengatur waktu (*timer*) dan/atau sensor cahaya (*photocell*) untuk lampu taman, koridor, dan teras;
- 10) Mematikan lampu ruangan di bangunan Gedung jika tidak dipergunakan;
- 11) Memanfaatkan cahaya alami (matahari) pada siang hari dengan membuka tirai jendela secukupnya sehingga tingkat cahaya memadai untuk melakukan kegiatan pekerjaan;

12) Membersihkan lampu (*armature*) apabila kotor dan berdebu agar tidak menghalangi cahaya lampu.

C. Penghematan pemakaian energi listrik pada ‘peralatan pendukung’ dilakukan dengan cara :

- 1) Mengoperasikan *lift* dengan pemberhentian di setiap 2 (dua) lantai;
- 2) Menggunakan alat pengatur kecepatan dan sensor gerak pada eskalator;
- 3) Mematikan komputer apabila akan meninggalkan ruang kerja lebih dari 30 (tiga puluh) menit;
- 4) Mematikan printer apabila tidak digunakan dan hanya menyalakan sesaat sebelum akan mencetak;
- 5) Menggunakan mesin fotokopi yang memiliki mode *standby* dengan konsumsi daya listrik rendah;
- 6) Mengoperasikan peralatan audio-video sesuai kebutuhan;
- 7) Menyalakan peralatan *water heater* dan *dispenser* beberapa menit sebelum dioperasikan dan dimatikan setelah selesai digunakan.
- 8) Memasang kapasitor bank untuk meningkatkan faktor daya jaringan tenaga listrik
- 9) Mengupayakan diversifikasi energi seperti pemakaian energi surya dan angin.

D. Penghematan energi listrik pada proses produksi dilakukan dengan cara :

- 1) Modifikasi teknologi proses produksi yang lebih efisien;
- 2) Optimasi sistem produksi.

E. Penghematan energi listrik pada peralatan pemanfaatan energi dilakukan dengan cara :

- 1) Pemasangan inverter untuk optimalisasi beban yaitu pada mesin yang menggunakan motor-motor listrik yang bekerja dengan beban dinamis dan kapasitas yang cukup besar;
- 2) Mengontrol rasio udara bahan bakar sehingga diperoleh pembakaran yang efisien;
- 3) Memanfaatkan gas buang antara lain dengan *cogeneration* atau *system combined heat and power (CHP)*;
- 4) Pengurangan *heat losses* yaitu dengan isolasi yang cukup dan optimum pada peralatan
- 5) Melakukan *fuel switching* antara lain pemanfaatan gas alam sebagai bahan bakar untuk menggantikan *High Speed Diesel (HSD)*;
- 6) Melakukan perawatan berkala pada peralatan.

Penelitian L. De Santoll, F. Fracitlli, et.al (2014) menyimpulkan bahwa upaya mengurangi konsumsi energi listrik khususnya pada bangunan gedung sangat dipengaruhi oleh dimensi teknologi alat listrik yang digunakan dan peralatan arsitektur gedung dimasa depan. Hasil penelitian terkait analisis

energi pada bangunan berkelanjutan, dilakukan oleh John E. Anderson, Gebhard Wulfhorst, *et al.* (2014) yang membagi dua skala bagian yaitu Skala Bangunan meliputi : Bahan bangunan, Desain arsitektur, Sistem operasional, Sistem struktur bangunan, dan Konstruksi, kedua Skala Urban, meliputi Transportasi, Bentuk Urban, Infrastruktur, dan Konsumsi energi. Metode yang digunakan untuk memperoleh skala building maupun skala urban menggunakan *Life-cycle Assessment (LCA)* yang meliputi Life-Cycle Energy Analysis.

Pengukuran konservasi energi di Queensland, Australia menggunakan teknik Energy Conservation Measure (ECMs) yang meliputi pengukuran heating, ventilating, dan air conditioning (HVAC) serta sistem penerangan untuk bangunan kampus dalam musim sub-tropis (panas dan lembab).

Sesuatu yang harus dilakukan ialah memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dan semakin meningkatkan konservasi energi. Tidak ada gunanya atau tidak efektif apabila kita hanya mengurus pasokan energi tanpa menangani atau mengendalikan pemanfaatannya. Pemborosan energi menyumbang terhadap kerusakan dan berkurangnya sumber energi tetapi juga menyumbang dampak lingkungan terutama terhadap perubahan iklim. Ditengarai bahwa pemborosan energi berkaitan dengan perilaku, gaya hidup dan budaya individu dan masyarakat, tetapi juga berkaitan dengan lemahnya

pengendalian efisiensi pengelolaan energi. (A. Sony Keraf, 2016).

Beberapa kebijakan program dan kegiatan yang terakit dengan Konservasi Energi yang sudah, sedang dan akan terus dilakukan oleh Dirjen EBTKE ialah :

- a. Sosialisasi untuk peningkatan perilaku hemat energi.
- b. Peningkatan teknologi hemat energi.
- c. Pengembangan industri hijau.
- d. Insentif dan disinsentif.
- e. Audit dan manajemen energi
- f. Kendaraan umum dan penerapan jalan berbayar/pembatasan kendaraan pribadi.
- g. Pengembangan kendaraan hemat energi
- h. Pengembangan lampu hemat energi.
- i. Label produk hemat energi
- j. Bangunan hijau/hemat energi (A. Sony Keraf, 2016).

2.9 Standar ISO 50001 – Sistem Manajemen Energi

Dikenal dengan ISO 50001 : 2011 – *Energy Management Sistem (ENMs)*, Tujuan standar ini ialah agar organisasi/lembaga/kantor/perusahaan untuk menerapkan sistem dan proses yang diperlukan untuk meningkatkan kinerja energi termasuk efisiensi energi, dan konsumsi energi. Penerapan ISO 50001 ini dimaksudkan untuk menghasilkan pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dan dampak lingkungan lainnya yang terkait dan Biaya Energi melalui Manajemen Energi yang sistematis. ISO 50001 berlaku untuk

semua jenis dan ukuran organisasi termasuk lembaga pendidikan (perguruan tinggi). Keberhasilan dari pelaksanaan sistem manajemen energi - ISO 50001 ini bergantung pada komitmen dari semua 'tingkatan' dan 'fungsi organisasi', dan terutama oleh Manajemen puncak (pimpinan Universitas/Insitut).

Melalui Standard ISO 50001 – *Energy Management System* (ENMs) organisasi dapat mengembangkan dan menerapkan kebijakan energi, dan menetapkan tujuan, rencana aksi dan sasaran, yang memperhitungkan persyaratan hukum dan informasi yang berkaitan dengan penggunaan energi yang signifikan. Di sisi lain dengan Standar ISO 50001 memungkinkan organisasi untuk mencapai komitmen kebijakan, mengambil tindakan yang diperlukan untuk meningkatkan *kinerja energi*.

Sama seperti standard ISO lainnya, ISO 50001 – *Energy Management System* ini didasarkan pada pendekatan PDCA (*Plan - Do - Check – Act*), kerangka perbaikan berkelanjutan, berkesinambungan dan menggabungkan manajemen energi ke dalam praktek organisasi.

Pendekatan PDCA pada ISO 50001 dapat diuraikan sebagai berikut :

Plan : Melaksanakan review energi dan menetapkan baseline, indikator kinerja energi, sasaran, tujuan dan rencana aksi yang dibutuhkan untuk memberikan hasil dalam meningkatkan kinerja energi sesuai dengan kebijakan energi organisasi

Do : melaksanakan rencana aksi pengelolaan energi;

Check: memantau dan mengukur proses dan karakteristik kunci dari

operasi yang menentukan kinerja energi terhadap kebijakan energi dan tujuan serta melaporkan hasilnya

Act : mengambil tindakan untuk terus meningkatkan kinerja energi dan Energy Management Systems.

Standar ISO 50001 – Energy Management Systems ini mencakup persyaratan untuk penetapan, penerapan, memelihara dan meningkatkan sistem manajemen energi, yang tujuannya adalah untuk memungkinkan organisasi untuk mengikuti pendekatan yang sistematis dalam mencapai perbaikan berkesinambungan dari kinerja energi, termasuk efisiensi energi, penggunaan energi dan konsumsi.

Mengkaji tujuan dari ISO 50001 agar organisasi / lembaga /perusahaan untuk menetapkan sistem dan proses yang diperlukan untuk meningkatkan kinerja energi termasuk efisiensi energi, dan konsumsi energi maka hal ini selaras dengan tujuan pelaksanaan program konservasi energi.

2.10 Prakiraan

2.10.1 Pengertian prakiraan

Prakiraan (*forecasting*) merupakan proses untuk memprakirakan kejadian pada masa mendatang (Heier and Render, 2009). Menurut Hamidie (2009) prakiraan dikategorikan menjadi 3 yaitu jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang.

Untuk prakiraan jangka pendek meliputi jangka waktu jam, hari hingga tiga bulan. Prakiraan jangka menengah atau

'intermediate' mencakup hitungan tiga bulan hingga dua tahun. Sedangkan prakiraan jangka panjang pada umumnya untuk perencanaan masa dua tahun atau lebih (Sugiarto Harijono, 2000). Prakiraan dibutuhkan untuk mengantisipasi hal-hal/kejadian yang tidak diinginkan dan menyiapkan tindakan yang perlu dilakukan (Arifah, 2016). Memprakiraan suatu kondisi di masa depan memang tidak mudah namun prakiraan dapat dijadikan sebagai acuan meminimalkan tingkat kesalahan.

Prakiraan merupakan hal penting yang dipakai untuk mengetahui kejadian di masa mendatang melalui pengenalan pola kejadian di masa lampau. Dengan cara mengetahui kejadian yang akan terjadi membuat setiap orang lebih mempersiapkan segala sesuatu, baik untuk kehidupan manusia maupun harta benda yang dimiliki. Prakiraan adalah salah satu pemanfaatan dari teknologi *data mining*. Daryl Pregibon dalam Prasetyo (2014), *data mining* adalah gabungan dari statistik, kecerdasan buatan dan riset basis data yang masih berkembang. Sejalan perkembangan teknologi, maka berbagai model prakiraan juga mengalami kemajuan yang pesat. Jaringan Syaraf Tiruan dapat digunakan untuk memprakiraan karena memiliki kemampuan meneliti dan mengenali pola data historis. Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) di bidang peramalan berada di hampir semua studi ilmiah dari tahun terakhir karena memiliki akurasi yang lebih baik dari model Statistik dan Matematika, selain itu Jaringan Syaraf Tiruan memiliki fleksibilitas baik dalam

perancangan maupun penggunaannya (Sharma & Nijhawan, 2015: 65).

Fausett (1994) mengatakan bahwa Jaringan Syaraf Tiruan merupakan sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan Jaringan Syaraf Biologi. Jaringan Syaraf Tiruan terinspirasi oleh otak manusia dimana neuron saling interkoneksi secara non-linier. Neuron merupakan elemen pengolahan JST. Setiap neuron menerima *input*, memproses *input* tersebut kemudian mengirimkan hasilnya berupa sebuah *output*. Penelitian ini menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan *backpropagation* karena pola sederhana dan kinerjanya umumnya baik. Algoritma *backpropagation* memiliki cara kerja dengan menyesuaikan bobot yang saling terhubung antara neuron untuk mencapai kesalahan minimum antara keluaran hasil prakiraan dengan keluaran yang hasil pengukuran (Lee & Choi, 2013). Selain itu jaringan syaraf tiruan *backpropagation* mempunyai keunggulan lain dibandingkan jaringan syaraf tiruan lainnya yaitu jaringan syaraf tiruan *backpropagation* menggunakan pelatihan terawasi. Jaringan syaraf disebut terawasi jika *output* yang diharapkan sudah diketahui sebelumnya (Park & Kang, 2006). Jaringan syaraf tiruan *backpropagation* berisi metode pelatihan *backpropagation* yang sangat umum, yang dapat dipakai untuk memecahkan permasalahan di banyak sektor dan dapat ditemukan di hampir setiap bidang.

Sejumlah riset yang telah dihasilkan mengenai penggunaan

Jaringan Syaraf Tiruan *backpropagation*. Penelitian terkait dengan JST *backpropagation* yaitu pada penelitian Lee & Choi (2013), tentang prakiraan kebangkrutan sebuah usaha diperoleh akurasi hasil pengujian 81,43%. Penelitian lain mengenai jaringan syaraf tiruan *backpropagation* dilakukan oleh Khusniyah & Sutikno (2016), yaitu prakiraan nilai tukar petani menggunakan jaringan syaraf tiruan *backpropagation* diperoleh tingkat akurasi sebesar 99,39%. Berdasarkan penelitian, dapat diketahui bahwa Jaringan Syaraf Tiruan *backpropagation* menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi sehingga baik digunakan dalam melakukan prakiraan.

2.10.2 Jenis Prakiraan

Prakiraan membutuhkan metode yang disesuaikan dengan informasi data yang dimiliki dan tujuan yang akan dicapai. Pada mulanya berasal dari metode sederhana yang diciptakan dari kumpulan data dengan karakter tertentu terciptanya metode prakiraan yang berkembang saat ini. Beberapa metode tersebut ialah :

2.10.2.1 Metode Time Series atau Deret Waktu

Metode ini menggunakan dasar masa lampau untuk membuat prakiraan. Analisisnya yaitu mencari hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas, yang saling berkaitan terhadap waktu.

Waktu yang digunakan seperti minggu, bulan, dan tahun. Tujuan dari metode ini adalah meneliti pola data yang dipakai untuk melakukan eksplorasi ke masa depan untuk mengetahui pola data yang

diperlukan dalam menentukan metode prakiraan yang sesuai (Afifah, 2016). Metode deret waktu terdiri dari :

2.10.2.2 Metode Smoothing

Metode ini digunakan untuk prediksi jangka pendek seperti perencanaan keuangan dan menentukan persediaan barang. Tujuannya untuk menghindari ketidakaturan seperti musiman.

2.10.2.3 Metode Bob Jenkins

Metode ini menggunakan model matematika dalam proses prakiraan, biasanya digunakan untuk prakiraan jangka pendek. Misal : AR (*Auto Regressive*), MA (*Moving Average*), lalu dikembangkan menjadi ARMA (*Auto Regressive Moving Average*), ARIMA (*Auto Regressive Integrated Moving Average*), ARMAX (*Auto Regressive Moving Average with Exogenous variables*), ARIMAX (*Auto Regressive Integrated Moving Average with Exogenous variables*)

2.10.2.4 Metode Proyeksi Trend dengan Regresi

Pada umumnya memiliki garis trend untuk persamaan matematis. Kadang kala bisa digambarkan dengan garis dari waktu ke waktu. Metode ini cocok digunakan untuk prakiraan jangka pendek maupun jangka panjang.

2.10.2.5 Metode Kausal (sebab-akibat)

Metode ini menggabungkan beberapa faktor atau variabel yang mungkin mempengaruhi 'kuantitas' yang sedang diramalkan. Mencari nilai korelasi variabel satu dengan yang lain dimana variabel tersebut memiliki hubungan sebab akibat akan tetapi tidak

didasarkan pada faktor tertentu. Metode ini dibagi menjadi :

2.10.2.6 Metode Regresi dan Korelasi

Metode dianalisis secara statistik menggunakan persamaan pada metode 'least square' Baik dipakai untuk prakiraan jangka panjang maupun jangka pendek. Contoh pengembangan metodenya yaitu metode regresi linier, metode regresi linier berganda dan regresi non-linier.

2.10.2.7 Model Input Output

Biasanya dipakai untuk mengilustrasikan trend ekonomi dalam jangka panjang. Contoh : model statistik berdasarkan pembelajaran dan model penggunaan terkini.

2.10.2.8 Model Ekonometrik

Merupakan kombinasi dari teori ekonomi dan teknik statistik untuk memprakiraan energi listrik. Mengestimasi hubungan antara konsumsi energi dan faktor yang mempengaruhi energi tersebut (Khair, 2010)

2.10.3 Peramalan berbasis model ANN

Rajesh Kumar, R.K. Aggarwal, J.D. Sharma, (2013), meneliti bahwa Artificial Neural Network (ANN) dapat digunakan untuk memprakiraan konsumsi energi lebih andal daripada model simulasi tradisional dan teknik regresi. ANN saat ini diterima sebagai teknologi alternatif yang menawarkan cara untuk mengatasi masalah yang kompleks dan tidak jelas. Data-data parameter tidak diprogram dengan cara tradisional tetapi dilatih menggunakan data

riwayat masa lalu yang mewakili perilaku suatu sistem. Mereka telah digunakan dalam sejumlah aplikasi yang beragam. Hasil yang disajikan dalam penelitian ini adalah pembuktian tentang potensi jaringan saraf tiruan sebagai alat desain di banyak bidang layanan teknis. Hai-Xiang Zhao, Frédéric Magoulès (2012) menyatakan bahwa ANN adalah model kecerdasan buatan yang paling cocok digunakan penerapan prakiraan energi bangunan. Tipe model ini terbukti mampu memecahkan masalah non-linear dan merupakan pendekatan yang efektif untuk aplikasi yang kompleks ini. Dalam kurun waktu dua puluh tahun terakhir, para peneliti telah menerapkan ANN untuk menganalisis berbagai jenis energi bangunan Konsumsi dalam berbagai kondisi, seperti pemanasan / pendinginan beban, konsumsi listrik, operasi komponen sub-level dan optimasi, estimasi parameter. Keuntungan penggunaan model Artificial Neural Networks (ANN) yaitu ANN memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya paling cocok untuk masalah dan situasi tertentu:

- a. ANN memiliki kemampuan untuk belajar dan memodelkan hubungan non-linear dan kompleks, yang sangat penting karena dalam kehidupan nyata, pada umumnya hubungan antara input dan output yang non-linear serta kompleks.
- b. ANN dapat menggeneralisas , setelah belajar dari input awal dan hubungannya, dapat menyimpulkan hubungan yang tidak terlihat pada data yang tidak terlihat juga, sehingga membuat model menggeneralisasi dan memprakiraan pada data yang tidak

terlihat.

- c. Tidak seperti banyak teknik prakiraan lainnya ANN tidak memaksakan pembatasan pada variabel input (seperti bagaimana mereka harus didistribusikan). Selain itu, banyak penelitian telah menunjukkan bahwa ANN dapat memodelkan heteroskedastisitas lebih baik yaitu data dengan volatilitas tinggi dan varian tidak konstan, mengingat kemampuannya untuk mempelajari hubungan tersembunyi dalam data tanpa memaksakan hubungan tetap dalam data. Ini adalah sesuatu yang sangat berguna dalam peramalan *time series* seperti peramalan konsumsi energi listrik di bangunan komersial.

Neto *et.al.* (2008) membandingkan model *engineering* dengan model ANN untuk memprakiraan konsumsi energi bangunan. Model *engineering* menggunakan prinsip fisik untuk menghitung dinamika termal dan perilaku energi pada seluruh tingkat bangunan atau untuk komponen sub-level. Kedua model telah menunjukkan akurasi prakiraan yang tinggi, sementara ANN sedikit lebih baik dari model *engineering* dalam prakiraan jangka pendek.

Bermejo, J.F, Fernándezet, G, *et al.* (2019) menyimpulkan bahwa kelebihan utama dari penggunaan model ANN, dibandingkan dengan penggunaan yang lebih konvensional teknik (time series dan regresi), adalah : (1) Model prakiraan dengan koefisien korelasi yang baik. (2) Fitting cepat dan fleksibilitas untuk pola perilaku (pengenalan pola dan toleransi kesalahan) kemampuan termasuk

ketidakhadiran data dan noise. (3) Adaptasi yang lebih baik untuk masalah yang kompleks dan non-linear, (4) Penyesuaian untuk perubahan dinamis secara real time. (5) Pemrosesan cepat dan integrasi yang mudah dalam sistem.

Menurut Siang (2009), Jaringan Syaraf Tiruan adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik menyerupai dengan jaringan syaraf biologi. Jaringan Syaraf Tiruan dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi sebagai berikut (a) Pemrosesan informasi terjadi pada beberapa elemen sederhana (*neuron*). (b) Sinyal dikirimkan di antara neuron- neuron melalui penghubung-penghubung. (c) Penghubung antar neuron mempunyai bobot yang akan menguatkan atau melemahkan sinyal. (d) Untuk menentukan *output*, setiap neuron menggunakan ‘fungsi aktivasi’ (biasanya bukan fungsi linier) yang dikenakan pada jumlah *input* yang diterima. Besarnya *output* ini selanjutnya dibandingkan dengan suatu batas ambang (*threshold*). *Neuron* biologi merupakan sistem yang “*fault tolerant*” dalam 2 hal. Pertama, manusia dapat mengenali sinyal *input* yang agak berbeda dari yang pernah kita terima sebelumnya. Sebagai misal, manusia sering dapat mengenali seseorang yang wajahnya pernah dilihat dari foto atau dapat mengenali seseorang yang wajahnya agak berbeda karena sudah lama tidak menjumpainya. Kedua, tetap mampu bekerja secara baik. Apabila sebuah *neuron* rusak, *neuron* lain dapat dilatih untuk menggantikan fungsi *neuron* yang rusak tersebut.

Hal yang ingin dicapai dengan melatih Jaringan Syaraf Tiruan adalah untuk mencapai keseimbangan antara kemampuan Memorisasi dan Generalisasi. Kemampuan Jaringan Syaraf Tiruan untuk mengambil kembali secara sempurna sebuah pola yang telah dipelajari disebut kemampuan Memorisasi. Sedangkan kemampuan Jaringan Syaraf Tiruan untuk menghasilkan respon yang bisa diterima terhadap pola-pola yang sebelumnya telah dipelajari disebut kemampuan Generalisasi. Hal ini sangat bermanfaat bila pada suatu saat ke dalam Jaringan Syaraf Tiruan itu di inputkan informasi baru yang belum pernah dipelajari, maka Jaringan Syaraf Tiruan itu masih akan tetap dapat memberikan tanggapan yang baik, memberikan output yang mendekati (Puspaningrum, 2006).

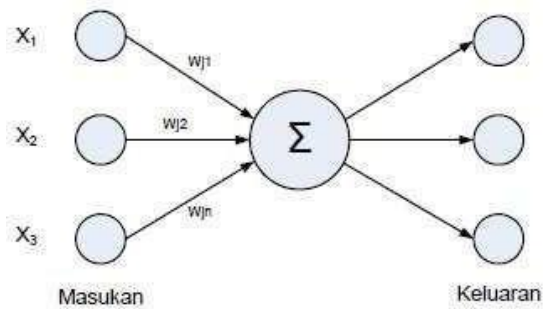
Jaringan Syaraf Tiruan menyerupai otak manusia dalam 2 hal, yaitu

1. Pengetahuan didapatkan jaringan melalui proses belajar.
 2. Kekuatan hubungan antar sel syaraf (*neuron*) yang dikenal sebagai bobot-bobot sinaptik dipergunakan untuk menyimpan pengetahuan.
- Jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh 3 hal (Siang, 2004):
- a. Pola hubungan antar *neuron* disebut ‘arsitektur jaringan’
 - b. Metode untuk menentukan bobot penghubung (disebut metode pelatihan atau *training/learning*).
 - c. Fungsi aktivasi, yaitu fungsi yang digunakan untuk menentukan keluaran suatu *neuron*.

2.10.3.1 Model Neuron

Satu sel syaraf terdiri dari 3 bagian, yaitu : fungsi Penjumlahan (*summing function*), fungsi Aktivasi (*activation function*), dan keluaran

(output).



Gambar 2.4 Model Neuron

Jika dilihat, *neuron* buatan diatas mirip dengan sel *neuron* biologis. Informasi (*input*) akan dikirimkan ke *neuron* dengan bobot tertentu. *Input* akan diproses oleh suatu fungsi yang akan *menjumlahkan* nilai-nilai bobot yang ada. Oleh fungsi aktivasi di setiap neuron, hasil penjumlahan tersebut kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu. Apabila *input* tersebut telah melewati suatu nilai ambang tertentu, maka *neuron* tersebut akan diaktifkan, jika tidak, maka *neuron* tersebut akan mengirimkan *output* melalui bobot-bobot *outputnya* ke semua *neuron* yang terkoneksi dengannya.

Pada prinsipnya jaringan syaraf tiruan merupakan suatu program komputer dimana proses informasi yang dibuat berdasarkan cara kerja jaringan biologi otak manusia. Menurut Budi Warsito (2009) dalam memproses informasi jaringan syaraf manusia mempunyai 3 elemen dasar sebagai berikut : (1) Himpunan Penghubung, yaitu himpunan unit-unit yang dihubungkan dengan suatu jalur koneksi. (2) Fungsi Penjumlah. Yaitu suatu unit yang akan

menjumlahkan input-input sinyal yang sudah dilakikan dengan bobot masing-masing. (3) Fungsi Aktivasi, fungsi ini dapat digunakan sebagai dasar guna mengubah bobot, yang dapat menjadikan jaringan menjadi lebih powerful. Fungsi aktivasi juga menghasilkan informasi yang akan dikirim ke neuron lain dengan bobot kedatangan tertentu.

Beberapa istilah dalam Jaringan Syaraf Tiruan yang sering digunakan adalah sebagai berikut (Hermawan, 2006) :

- a. Bobot adalah nilai matematis dari suatu koneksi antar neuron.
- b. Fungsi aktivasi adalah fungsi yang digunakan untuk menentukan nilai keluaran.
- c. Fungsi aktivasi sederhana digunakan dalam mengalikan *input* dengan bobotnya dan kemudian menjumlahkannya (disebut penjumlahan Sigma) berbentuk linier atau non linier dan sigmoid.
- d. *Input* adalah sebuah nilai *input* yang akan diproses menjadi nilai *output*.
- e. *Output* merupakan solusi dari nilai *input*.
- f. *Hidden layer* adalah lapisan tersembunyi yang tidak secara langsung berinteraksi dengan dunia luar. Lapisan tersembunyi ini memperluas kemampuan jaringan syaraf tiruan dalam menghadapi masalah- masalah yang kompleks.
- g. Neuron atau *node* atau unit yaitu sel syaraf tiruan yang merupakan elemen pengolahan Jaringan Syaraf Tiruan. Setiap neuron menerima *input*, memproses *input* tersebut selanjutnya mengirimkan hasilnya berupa sebuah *output*.

2.10.3.2 Konsep Dasar Jaringan Syaraf Tiruan

Pada umumnya Jaringan Syaraf Tiruan memiliki dua lapisan, yaitu *input layer* dan *output layer*. Namun pada perkembangannya, adapula Jaringan Syaraf Tiruan yang memiliki satu lapisan lagi yang terletak diantara *input layer* dan *output layer*, lapisan ini disebut adalah lapisan tersembunyi *hidden layer*.

Penjelasan mengenai komponen jaringan syaraf tiruan.

1. *Input Layer*

Input layer berisi *node-node* yang masing-masing menyimpan sebuah nilai masukan yang tidak berubah pada fase latih dan hanya dapat berubah apabila diberikan nilai masukan baru. *Node* pada lapisan ini bergantung pada jumlah *input* dari suatu pola.

2. *Hidden Layer*

Lapisan ini tersembunyi sehingga dinamakan *hidden layer*. Namun semua proses pada fase pelatihan dan fase pengenalan diproses di lapisan ini. Jumlah lapisan *hidden layer* tergantung dari arsitektur yang akan dirancang.

3. *Output Layer*

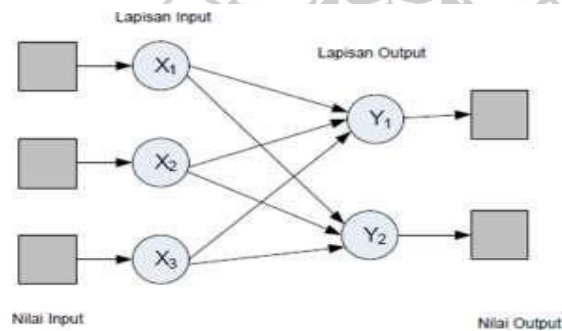
Output layer berfungsi untuk menampilkan hasil perhitungan sistem oleh fungsi aktivasi pada *hidden layer* berdasarkan *input* yang diterima.

2.10.3.3 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan dan algoritma pelatihan sangat menentukan model-model Jaringan Syaraf Tiruan. Arsitektur

jarinngan tersebut untuk menjelaskan arah perjalanan sinyal atau data di dalam jaringan. Sedangkan algoritma pelatihan menjelaskan bagaimana bobot koneksi harus diubah agar pasangan *input-output* yang diinginkan dapat tercapai. Menurut Kusumadewi, (2003). arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan tersebut, antara lain :

2.10.3.4 Jaringan Layar Tunggal (*single layer network*).



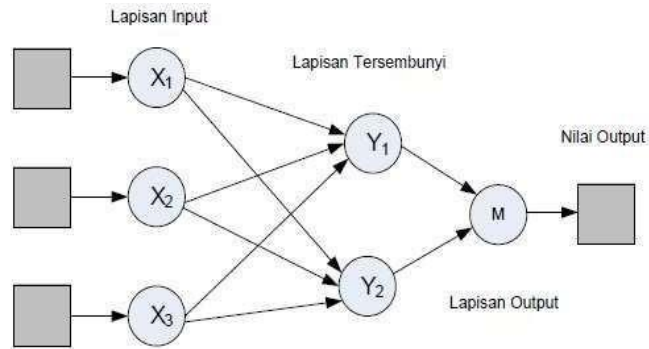
Gambar 2.5 Arsitektur layar tunggal

Setiap *neuron* yang ada di dalam lapisan / layer *input* selalu terhubung dengan setiap *neuron* yang ada pada layer *output*. Jaringan ini menerima *input* selanjutnya secara langsung akan mengolahnya menjadi *output* tanpa harus melalui lapisan tersembunyi. Contoh algoritma jaringan syaraf tiruan yang menggunakan metode ini yaitu : Hopfield, ADALINE, Perceptron.

2.10.3.5 Jaringan layar jamak (*multi layer network*)

Jaringan lapisan jamak memiliki ciri tertentu yaitu memiliki 3 jenis *layer* yakni *layer input*, *layer output*, layer tersembunyi. Jaringan layar jamak ini dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks dibandingkan jaringan lapisan tunggal. Tetapi pada proses pelatihan sering membutuhkan waktu yang cenderung lama. Contoh algoritma

jaringan syaraf tiruan yang menggunakan metode layer jamak yaitu :
MADALINE, *neocognitron*, *backpropagation*.

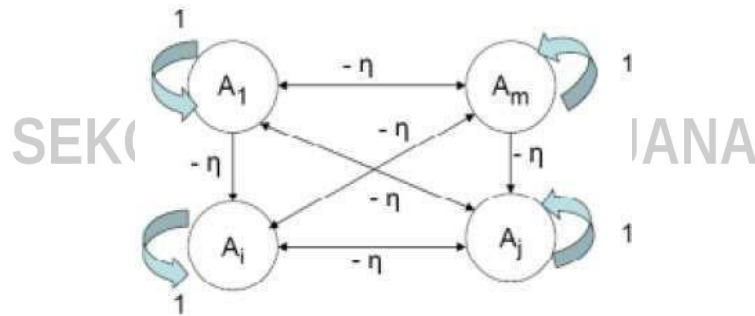


Gambar 2.6 Arsitektur layer jamak

2.10.3.6 Jaringan dengan lapisan kompetitif.

Pada jaringan dengan lapisan kompetitif ini sekumpulan *neuron* bersaing untuk memperoleh hak menjadi aktif. Contoh algoritma yang menggunakan metode ini adalah :

LVQ.



Gambar 2.7 Arsitektur layer kompetitif

2.10.3.4 Metode Pelatihan atau Pembelajaran Jaringan Syaraf

Tiruan

Berdasarkan cara berlangsungnya pembelajaran atau pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan dikelompokkan menjadi 3 yaitu (Puspitaningrum, 2006) :

a. *Supervised Learning* (pembelajaran terawasi).

Pada metode ini, setiap pola yang diberikan ke dalam Jaringan Syaraf Tiruan telah diketahui *output*-nya. Selisih antara pola *output* aktual (*output* yang dihasilkan) dengan pola *output* yang dikehendaki (*output target*) yang disebut *error* dipergunakan untuk mengoreksi bobot Jaringan Syaraf Tiruan sehingga Jaringan Syaraf Tiruan mampu menghasilkan *output* sedekat mungkin dengan pola target yang telah diketahui oleh Jaringan Syaraf Tiruan. Contoh algoritma Jaringan Syaraf Tiruan yang menggunakan metode ini adalah : Hebbian, Perceptron, ADALINE, Boltzman, *Backpropagation*, Hopfield,

b. *Unsupervised Learning* (pembelajaran tak terawasi).

Pada metode ini, target *output* tidak diperlukan.. Selama proses training, nilai bobot disusun dalam suatu range tertentu bergantung pada nilai *input* yang diberikan. Tujuan pembelajaran ini ialah mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam suatu area tertentu. Pembelajaran ini biasanya sangat sesuai untuk klasifikasi pola. Contoh algoritma Jaringan Syaraf Tiruan yang memakai metode ini ialah : *Competitive*, *Hebbian*, *Kohonen*, *LVQ (Learning Vector Quantization)*, *Neocognitron*.

c. *Hybrid Learning* (pembelajaran hibrida).

Merupakan gabungan dari metode pembelajaran *Supervised Learning* dan *Unsupervised Learning*, sebagian dari bobot-bobotnya ditentukan melalui pembelajaran terawasi dan sebagian

lainnya melalui pembelajaran tak terawasi. Contoh yang menggunakan metode ini adalah: algoritma RBF. Metode algoritma yang baik dan sesuai dalam melakukan pengenalan pola-pola gambar adalah algoritma *Backpropagation* dan *Perceptron*. Untuk mengenali teks berdasarkan tipe *font* akan dipergunakan algoritma *Backpropagation*.

2.10.3.5 Fungsi Aktivasi Jaringan Syaraf Tiruan

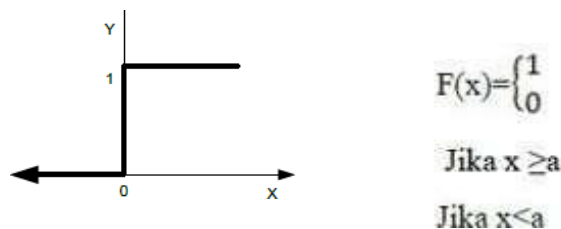
Dalam Jaringan Syaraf Tiruan, untuk menentukan keluaran suatu *Neuron* digunakan fungsi aktivasi. Argument fungsi aktivasi ialah net masukan (kombinasi linier masukan dan bobotnya).

Beberapa fungsi aktivasi yang digunakan adalah :

a. Batas Ambang atau *Fungsi Threshold*

Batas Ambang merupakan fungsi *threshold* biner. Untuk kasus bilangan bipolar, maka angka 0 diganti dengan angka 1.

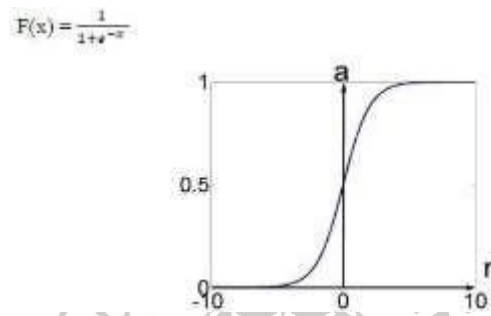
Adakalanya dalam Jaringan Syaraf Tiruan ditambahkan suatu unit masukan yang nilainya selalu 1. Unit tersebut dinamakan 'bias'. Bias dipandang sebagai sebuah *input* yang nilainya selalu 1. Bias ini berfungsi untuk mengubah *threshold* menjadi = 0.



Gambar 2.8 Fungsi aktivasi Threshold

a. Fungsi Sigmoid

Fungsi ini sering digunakan oleh karena nilai fungsinya yang mudah untuk didiferensialkan.



Gambar 2.9 Fungsi aktivasi sigmoid

c. Fungsi Identitas.

Digunakan jika keluaran yang dihasilkan oleh Jaringan Syaraf Tiruan merupakan sembarang bilangan riil (bukan hanya pada range $[0,1]$ atau $[-1,1]$). $Y = X$

2.10.3.6 Model Jaringan Backpropagation

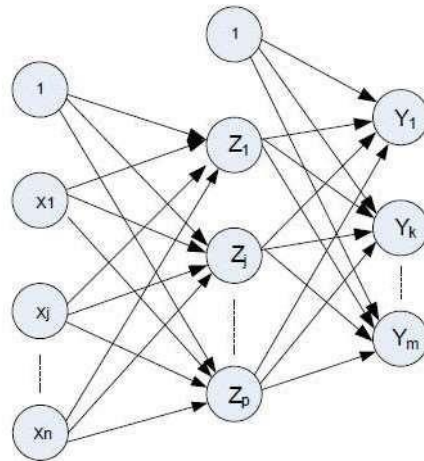
Model jaringan backpropagation merupakan sebuah teknik pembelajaran atau pelatihan *supervised leaning* yang sering digunakan. Metode ini sebagai salah satu metode yang sangat baik dalam menangani masalah pengenalan pola-pola kompleks. Di dalam *backpropagation*, setiap unit yang berada di lapisan *input* berkoneksi dengan setiap unit yang ada di lapisan tersembunyi. Setiap unit yang ada di lapisan tersembunyi terhubung dengan setiap unit yang ada di lapisan *output*. Jaringan ini terdiri dari banyak lapisan (*multilayer network*). Ketika jaringan ini diberikan pola masukan sebagai pola *training*, maka pola tersebut menuju unit-unit lapisan tersembunyi untuk kemudian diteruskan pada unit-unit di lapisan output. Selanjutnya unit-unit lapisan output akan memberi respon sebagai

output Jaringan Syaraf Tiruan. Pada saat hasil keluaran tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka keluaran akan dirambatkan mundur (*backward*) pada lapisan *hidden layer* selanjutnya dari lapisan tersembunyi menuju lapisan masukan. Tahap pelatihan/training ini merupakan langkah untuk melatih suatu Jaringan Syaraf Tiruan, dengan cara melakukan perubahan bobot, sedangkan penyelesaian masalah akan dilakukan jika proses pelatihan tersebut telah selesai, fase ini disebut fase pengujian (Puspaningrum, 2006).

2.10.3.7 Arsitektur Jaringan Backpropagation

Setiap unit dari layer *input* pada jaringan *backpropagation* selalu terkoneksi dengan setiap unit yang berada pada layer tersembunyi, demikian juga setiap unit layer tersembunyi selalu terkoneksi dengan unit pada layer *output*. Jaringan *backpropagation* terdiri dari banyak lapisan (*multilayer network*) yaitu:

1. Lapisan masukan atau *input layer* (1 buah), yang terdiri dari 1 hingga n unit *input*.
2. Lapisan tersembunyi atau *hidden layer* (minimal 1 buah), yang terdiri dari 1 hingga p unit tersembunyi.
3. Lapisan keluaran atau *output layer* (1 buah), yang terdiri dari 1 hingga m unit *output*



Gambar 2.10 Arsitektur Jaringan Backpropagation

2.10.3.8 Pelatihan (Training) jaringan Backpropagation

Aturan pelatihan jaringan *backpropagation* terdiri atas 2 tahapan, 'feedforward' dan 'backward propagation'. Pada jaringan diberikan sekumpulan contoh pelatihan yang disebut set pelatihan atau set training. Set training atau pelatihan ini digambarkan dengan sebuah vektor *feature* yang disebut dengan vektor *input* yang diasosiasikan dengan sebuah *output* yang menjadi target pelatihannya. Sehingga dengan kata lain set pelatihan terdiri dari vektor *input* dan juga vektor *output* target. Keluaran jaringan berupa sebuah vektor *output* aktual. Selanjutnya dilakukan komparasi antara *output* aktual yang dihasilkan dengan *output* target dengan cara melakukan pengurangan (selisih) diantara kedua *output* tersebut.

Hasil dari pengurangan berupa *error*. *Error* dijadikan sebagai dasar dalam melakukan perubahan dari setiap bobot dengan mempropagationkannya kembali. Setiap perubahan bobot yang terjadi dapat mengurangi *error*. Siklus perubahan bobot (*epoch*)

dilakukan pada setiap set pelatihan sehingga ‘kondisi berhenti’ dicapai, yaitu jika mencapai jumlah *epoch* yang diinginkan atau hingga sebuah nilai ambang yang ditetapkan terlampaui. Algoritma pelatihan jaringan backpropagation meliputi 3 tahapan yaitu :

1. Tahap *feedforward* atau umpan maju.
2. Tahap *backpropagation* atau umpan mundur.
3. Tahap peng-update-an bobot dan bias.

Algoritma pelatihan jaringan backpropagation dapat diuraikan sebagai berikut :

Langkah 0 : Inisialisasi bobot-bobot, konstanta laju pelatihan (α), toleransi *error* atau nilai bobot (apabila menggunakan nilai bobot sebagai kondisi berhenti) atau set maksimal *epoch* (jika menggunakan banyaknya *epoch* sebagai kondisi berhenti).

Langkah 1 : Selama belum mencapai kondisi berhenti, maka dilakukan langkah ke-2 hingga langkah ke-9.

Langkah 2 : Untuk setiap pasangan pola pelatihan, maka dilakukan langkah ke- 3 sampai langkah ke-8.

Langkah 3 : {Tahap I : Umpan maju (*feedforward*)}.

Setiap unit masukan menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi pada lapisan berikutnya..

Langkah 4 : Masing-masing unit di lapisan tersembunyi (dari unit ke-1 hingga unit ke-p) dikalikan dengan bobot dan dijumlahkan serta ditambahkan dengan biasnya.

Langkah 5 : Pada setiap unit *output* ($y_k, k=1,2,3,\dots,m$) dikalikan

dengan bobot dan dijumlahkan serta ditambahkan dengan biasnya.

Langkah 6 : {Tahap II : Umpan mundur (*backward propagation*)}. Masing-masing unit *output* ($y_k, k=1,2,3,\dots,m$) menerima pola target sesuai dengan pola masukan/*inp* saat pelatihan dan kemudian informasi kesalahan/*error* lapisan *output* (δ_k) dihitung. δ_k dikirim ke lapisan sebelumnya dan dipakai untuk menghitung besarnya koreksi bobot dan bias (ΔW_{jk} dan $\Delta W_{\delta k}$) antara lapisan tersembunyi dengan lapisan *output*. Langkah 7 : Pada setiap unit dilapisan tersembunyi (dari unit ke-1 hingga ke- $p; i=1\dots n; k=1\dots m$) dilakukan perhitungan informasi kesalahan lapisan tersembunyi (δ_j). δ_j selanjutnya digunakan untuk menghitung besar koreksi bobot dan bias (ΔV_{ji} dan ΔV_{j0}) antara lapisan *input* dan *hidden layer*.

Langkah 8 : {Tahap III : Pengupdatean bobot dan bias}. Masing-masing unit keluaran ($y_k, k=1,2,3,\dots,m$) dilakukan pengupdatean bias dan bobotnya ($j=0,1,2,\dots,p$) sehingga dapat menghasilkan bobot dan bias baru. Seperti halnya untuk setiap unit tersembunyi mulai dari unit ke-1 sampai dengan unit ke- p dilakukan pengupdatean bobot dan bias.

Langkah 9 : Pengujian kondisi berhenti (akhir iterasi).