BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Peramalan konsumsi listrik tahunan menggunakan jaringan saraf tiruan di sektor industri. Bahan kimia, logam dasar dan logam mineral non industri didefinisikan sebagai industri yang mengkonsumsi energi yang tinggi. Regresi pada model konvensional tidak memperkirakan konsumsi energi dengan benar dan tepat. Meskipun jaringan saraf tiruan sudah biasa digunakan untuk meramal konsumsi pemakaian dalam jangka pendek. Penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan yang lebih tepat untuk meramal konsumsi tahunan di industri tersebut. Jaringan syaraf tiruan menggunakan pendekatan berdasarkan perceptron multi layer terawasi digunakan untuk menunjukkan perkiraan konsumsi tahunan dengan kesalahan yang kecil. Dengan menggunakan data aktual dari tahun 1997 sampai dengan tahun 2003 digunakan untuk menggambarkan penerapan pendekatan jaringan syaraf tiruan. Hasil dari penelitian ini adalah menunjukkan keuntungan dari analisis multi varian, selanjutnya perkiraan dari jaringan syaraf tiruan dibandingkan dengan data aktual dan model regresi konvensional, untuk konsumsi energi jangka panjang dalam dunia industry (Azadeh dkk : 2008).

Kualitas daya listrik dapat didefinisikan sebagai keandalan, dimana dengan menggunakan angka statistic 99,98 persen, system tenaga listriknya mempunyai kualitas yang dapat diandalkan. Dalam industri manufaktur dapat mengartikan kuaalitas daya listrik adalah karakteristik dari suatu catu daya listrik yang memungkinkan peralatan – peralatan yang dimiliki industri tersebut dapat bekerja dengan baik. Karakteristik yang dimaksud dapat menjadi sangat berbeda untuk berbagai kriteria. Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yangmengakibatkan

Page 1 of 35
http://repository.unimus.ac.id

kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan – peralatan yang terjadi pada konsumen energy listrik (Roger C. Dugan, 1996).

Pengaruh kondisi ketidakseimbangan tegangan terhadap kinerja motor induksi tiga fasa dengan factor ketidakseimbangan tegangan yang sama namun terlebih dahulu sudah dilakukan beberapa percobaan untuk mengetahui parameter motor. Setelah dianalisis pada kondisi *steady state* (tunak) terlihat bahwa adanya perbedaan pengaruh dari tiap kondisi ketidakseimbangan tegangan walaupun factor ketidakseimbangan tegangannya bernilai sama. Pada faktor ketidakseimbangan tegangan 4%, kondisi 2Ø − A memiliki efisiensi paling rendah yaitu 78.97%, kondisi 2Ø − UV memiliki torsi terendah yaitu 8.247 Nm dan kondisi 3Ø − UV memiliki penurunan kecepatan terbesar yaitu hingga 1388 Rpm (Aulia AM & Pane Z:2014).

Presentasi ketidakseimbangan tegangan yang kecil akan tetap mempengaruhi dari ketidakseimbangan arus pada motor induksi. Hal ini menyebabkan kenaikan temperature yang signifikan. Sehingga kondisi ketidakseimbangan tegangan akan meningkatkan kenaikan temperature dibandingkan dengan kondisi normal. Pada pengoperasiannya motor induksi tidak bisa berjalan dengan baik jika dioperasikan pada tegangan tak seimbang. Efek langsung yang terjadi oleh ketidakseimbangan tegangan pada performa motor induksi adalah meningkatnya rugi panas pada motor, rugi akustik (*noise*), penurunan rating motor, dan memperpendek umur motor. Walaupun tegangan tak seimbang yang terjadi kecil, tetapi arus motor tak seimbang dapat mengalir. Pada kondisi normal nilai daya hilang sebesar 59.19 Watt. Kemudian pada pemberiaan %ketidakseimbangan sebesar 2 % naik sebesar 98.573 Watt. Selanjutnya, pemberian nilai persen ketidakseimbangan membentuk pola kenaikan sesuai dengan persen kenaikan persen ketidakseimbangan (Ramang I & Utomo AR ; 2014).

Penelitan sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai Analisis Pengaruh *Unbalance Under Voltage* (UBUV) dan *Unbalance Over Voltage* (UBUV) terhadap kerja motor induksi tiga fasa. Objek penelitian data tegangan tiga fasa yang tidak

http://repository.unimus.ac.id

seimbang pada pelanggan industri PT. PLN dan motor induksi tiga fasa di laboratorium energi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Soedirman. Hasil penelitian menunjukkan pada motor induksi 0,5 HP ketika terjadi UBUV dengan persentase 1,103% terjadi ketidakseimbangan arus 6,1%, rugi-rugi daya meningkat 6,22%, efisiensi menurun 3,19%, torsi menurun 7,53% dan kecepatan putaran menurun 0,386%. Sedangkan ketika terjadi UBOV dengan persentase 1,026% terjadi ketidakseimbangan arus 5,65%, rugirugi daya meningkat 22,82%, efisiensi menurun 2,96%, torsi meningkat 8,01% dan kecepatan putaran meningkat 0,165% (Prasetijo,2013). Dari penelitian diatas diperoleh bahwa ketidaksetimbangan tegangan dan arus dapat mempengaruhi kinerja dari motor induksi tiga fasa.

Hasil penelitian membuktikan bahwa algoritma JST (Jaringan Syaraf Tiruan) sangat handal dalam memprediksi beban listrik jangka pendek jika dibandingkan dengan metode Time Series dan prediksi yang dilakukan PLN, baik dalam tipe hari kerja, hari libur akhir pekan, dan hari libur nasional (Dwisatya, dkk: 2015).

Perbandingan antara hasil ramalan oleh Jaringan syaraf tiruan (JST) dan hasil koefisien beban menunjukkan rata-rata error dengan metode JST untuk satu minggu (Senin-Minggu) mencapai 0,12% dengan akurasi 99,88% dan rata-rata error dengan metode koefisien beban untuk satu minggu mencapai 1,85% dengan akuasi 98,15%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peramalan dengan JST lebih baik dari metode koefisien beban (Triwulan, dkk: 2013).

Keunggulan utama Jaringan Syaraf Tiruan adalah kemampuan komputasi yang pararel dengan cara belajar dari pola-pola yang diajarkan. Keuntungan yang didapatkan dari hasil pembuatan sistem ini adalah mampunya P.T PLN untuk memprediksikan kebutuhan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. (Pramono S.: 2006).

Data yang tersimpan di basisdata dapat dianalisis dengan teknik klasifikasi data jaringan saraf tiruan (JST) propagasi balik dan dimanfaatkan untuk mengambil keputusan. Analisis perancangan implementasi dari JST ini, eksperimen-eksperimen

http://repository.unimus.ac.id

untuk mendapatkan konfigurasi JST yang terbaik dan penggunaannya untuk mengklasifikasi data (Dhaneswara, dkk: 2004).

Dari banyaknya penelitian yang mengupas mengenai pengaruh dari ketidakseimbangan tegangan yang terjadi pada motor induksi tiga fasa seperti pengaruh terhadap Rugi-Rugi Tembaga pada motor yang mengakibatkan memendeknya umur motor tersebut, kemudian pengaruh terhadap daya rata-rata akan meningkat sesuai dengan perubahan persen ketidakseimbangan tegangan dan perubahan temperature pada motor induksi mengakibatkan motor akan lebih cepat panas. Maka, dari dampak yang dihasilkan itu peneliti kali ini akan memprediksi ketidakseimbangan tegangan sebelum terjadi dampak – dampaknya, agar dapat di atasi atau dicegah terlebih dahulu. Dari banyaknya penelitian yang pernah dilakukan untuk penggunaan Jaringan Saraf Tiruan dalam pemprediksian beberapa bidang dengan banyaknya pelatihan data. Dan dalam kasus ini di gunakan untuk memprediksi ketidakseimbangan tegangan untuk mengetahui keakurasian data menggunakan jaringan saraf tiruan.

2.2 Besaran Listrik Dasar

Terdapat tiga buah besaran listrik dasar yang digunakan di dalam teknik tenaga listrik, yaitu beda potensial atau sering disebut sebagai tegangan listrik, arus listrik dan frekuensi. Ketiga besaran tersebut merupakan satu kesatuan pokok pembahasan di dalam masalah – masalah sistem tenaga listrik. Selain ketiga besaran tersebut, masih terdapat satu faktor penting di dalam pembahasan sistem tenaga listrik yaitu daya dan faktor daya.

1. Beda Potensial

Ketika suatu muatan listrik (q) positif mengalami perpindahan sepanjang lintasan $(d\ell)$ di dalam medan listrik (E), maka energi potensial (W) elektrostatiknya adalah :

$$W = -q\int E d\ell \qquad (2.1)$$

Page 4 of 35
http://repository.unimus.ac.id

Beda potensial V sebagai kerja (sumber dari luar) yang digunakan untuk memindahkan suatu muatan listrik positif dari suatu titik ke titik lain adalah perubahan energi potensial listrik yang sebanding dengan muatan listriknya :

$$V = \frac{W}{q} = -\int_{awal}^{akhir} E d\ell \tag{2.2}$$

Beda potensial dinyatakan dalam satuan Joule per Coulomb yang didefinisikan sebagai Volt, sehingga beda potensial sering disebut sebagai voltase atau tegangan.

2. Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai laju aliran sejumlah muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang melintang. Menurut konvensi, arah arus listrik dianggap searah dengan aliran muatan positif. Arus listrik diukur dalam satuan Ampere (A), adalah satu Coulomb per detik. Arus listrik dirumuskan :

$$I = \frac{dq}{dt} \tag{2.3}$$

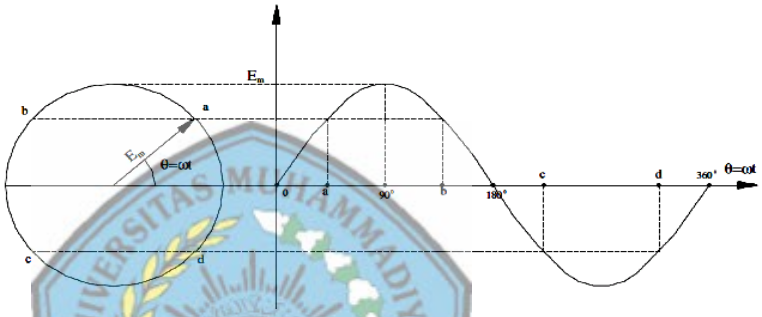
3. Frekuensi

Tegangan dan arus listrik yang digunakan pada sistem kelistrikan merupakan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoidal. Tegangan dan arus listrik sinusoidal merupakan gelombang yang berulang seperti pada gambar 2.3, sehingga gelombang sinusoidal mempunyai frekuensi. Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu yang diberikan. Satuan frekuensi dinyatakan dalam hertz (Hz) yaitu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang menemukan fenomena ini pertama kali. Frekuensi sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik, di mana frekuensi (f) sebagai hasil kebalikan dari periode (T), seperti rumus di bawah ini :

$$f = \frac{1}{T} \tag{2.4}$$

http://repository.unimus.ac.id

Di setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda. Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 Hz. Untuk Indonesia, aturan jaringan sistem tenaga listrik telah diatur dalam Permen ESDM No. 37 Tahun 2008 yang menyebutkan bahwa frekuensi nominal sebesar 50 Hz, diusahakan untuk tidak lebih rendah dari 49,5 Hz atau lebih tinggi dari 50,5 Hz dan selama waktu keadaan darurat (*emergency*) dan gangguan, frekuensi sistem diizinkan turun hingga 47,5 Hz atau naik hingga 52 Hz.



Gambar 2.1. Gelombang Sinusoidal

4. Energi Listrik, Daya dan Faktor Daya

Energi Listrik (E) merupakan bentuk energi yang dapat diubah menjadi bentuk energi lainnya, seperti energi listrik menjadi energi cahaya, energi panas, energi gerak dan sebagainya. Jika arus listrik mengalir pada suatu penghantar yang memilik hambatan R, maka energi akan terserap pada penghantar tersebut dalam interval waktu (t). Jika tegangan listrik (V), kuat arus yang mengalir pada penghantar (I) dan waktu atau lamanya arus mengalir (t), maka persamaan energi listrik dapat dirumuskan dalam bentuk :

$$E = V \times I \times t \qquad (2.5)$$

Daya listrik (P) adalah suatu ukuran terhadap penggunaan energi listrik yang dialirkan pada rangkaian tertutup dalam suatu waktu tertentu, di mana :

$$P = \frac{E}{t} \qquad (2.6)$$

http://repository.unimus.ac.id

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik, yaitu daya nyata atau daya aktif, daya reaktif serta daya semu atau daya kompleks. Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya atau putaran pada motor listrik. Daya nyata dihasilkan oleh beban - beban listrik yang bersifat resistif murni. Besarnya daya nyata sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt, di mana :

$$P = I^2 R \quad (2.7)$$

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (Volt Ampere Reaktan) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktansi. Terdapat dua jenis beban reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban-beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang biasa digunakan untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, lift, eskalator, kompresor, konveyor dan lain-lain. Beban-beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. Contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor. Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi, di mana :

$$Q = I^2 X \quad (2.8)$$

$$X = X_L - X_C \quad (2.9)$$

Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif, di mana :

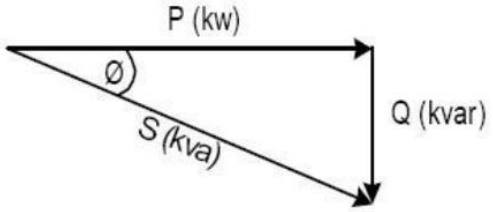
$$S = P + jQ \quad (2.10)$$

Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (Volt Ampere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban, di mana :

$$S = VxI \quad (2.11)$$

http://repository.unimus.ac.id

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q) serta daya kompleks (S), dinyatakan dengan sebuah segitiga yang disebut segitiga daya seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.2. Segitiga Daya

Dari gambar segitiga daya tersebut, hubungan antara ketiga daya listrik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \tag{2.12}$$

P = S sin∅

P = V I sin∅

Q = S sin ∅

Q = V I sin ∅

$$\cos\varnothing = pf = \frac{P}{S} \tag{2.13}$$

∅ adalah sudut antara daya aktif dan daya kompleks (S), sehingga cos∅ didefinisikan sebagai faktor daya (pf). Untuk beban yang bersifat induktif, pf *lagging* di mana arusnya tertinggal dari tegangannya. Dan untuk beban yang bersifat kapasitif, pf *leading* di mana arusnya mendahului tegangannya.

2.3 System Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik diharapkan beroperasi pada tegangan konstan,untuk menyalurkan daya ke berbagai peralatan beban. Tingkatan daya yang disalurkan bervariasi dari beberapa watt hingga megawatt, dengan menggunakan tegangan pembangkitan, penyaluran, dan distribusi dari beberapa ratus volt hingga ratusan kilovolt. Transmisi dan distribusi primer tenaga listrik ini dilakukan pada tegangan

Page 8 of 35
http://repository.unimus.ac.id

tinggi, puluhan hingga ratusan kilovolt, untuk memfasilitasi transportasi jarak jauh tenaga listrik yang efektif. penggunaan akhir biasanya pada skala tegangan 220 Volt (untuk rumah dan gedung) hingga tegangan sampai 1000 Volt (untuk industri), dan beberapa ribu volt untuk beban-beban yang lebih besar. Peralatan listrik didesain untuk beroperasi normal pada tegangan operasi normalnya (nominal). Pada tegangan di atas nominal, peralatan mempunyai batas kemampuan untuk menahan kelebihan tegangan. Demikian juga pada tegangan di bawah nominal, kinerja peralatan biasanya akan terganggu atau akan berlanjut pada resiko terjadinya kerusakan pada peralatan. Kedua gangguan tersebut, kelebihan atau kekurangan tegangan, diberi beberapa nama yang berbeda berdasarkan pada lama jangka waktu terjadinya. Penggolongan jenis gangguan ini juga meliputi distorsi bentuk gelombang, serta deviasi lainnya dari bentuk gelombang sinus yang diharapkan.

Dengan semakin maraknya perhatian terhadap gangguan pada perangkat elektronika di industri beserta permasalahan lainnya yang terkait, telah menarik perhatian lebih pada kualitas daya layanan yang diperlukan untuk skala operasi normal. Sejalan dengan kebutuhan daya yang berkualitas, juga diperlukan tingkat kompatibilitas yang praktis dari berbagai peralatan yang digunakan oleh konsumen daya, serta kejelasan tanggung jawab ekonomis dalam kerjasama antara produsen dan konsumen. Istilah kualitas daya sudah digunakan secara luas di kalangan industri, tetapi maksud dan tujuan dari suatu kriteria pengukuran, yang dibutuhkan untuk menentukan harga dari skala kualitas, masih perlu diperjelas. Kualitas daya yang baik biasanya difahami sebagai rendahnya tingkat gangguan daya layanan, namun tingginya tingkat toleransi peralatan yang digunakan juga dapat menjadi solusi yang efektif terhadap permasalahan kualitas daya. Untuk itu diperlukan kesamaan persepsi mengenai batas gangguan yang dapat diterima, serta tingkat toleransi terhadap gangguan tersebut.

Kesulitan lain dalam menentukan interface yang dibutuhkan antara daya dari sisi produsen dan beban sensistif yang ada pada sisi konsumen, adalah sifat subyektif dari penentuan biaya gangguan operasi yang disebabkan oleh gangguan daya. Suatu sistem tenaga listrik tidak pernah beroperasi pada tegangan dan frekuensi yang konstan. Pada

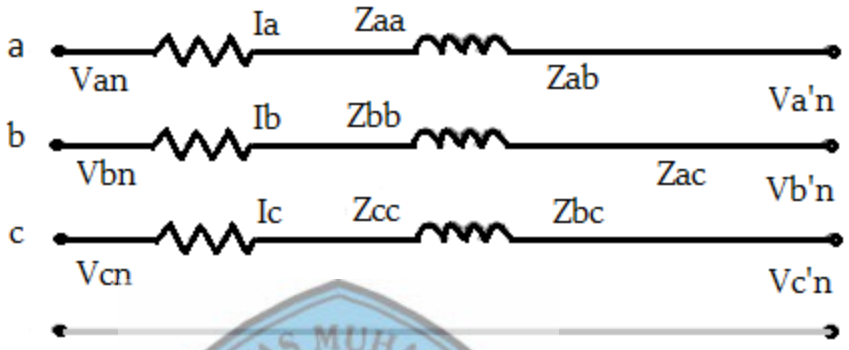
Page 9 of 35
http://repository.unimus.ac.id

awalnya kebanyakan peralatan listrik tetap dapat beroperasi dengan baik walaupun terjadi sedikit deviasi tegangan dan frekuensi dari harga nominalnya. Pada pabrik dan fasilitas industri modern, banyak perangkat listrik dan elektronika yang dimasukkan ke dalam sistem otomasi proses. Programmable logic controllers (PLC), Banyak gangguan pada proses produksi yang seharusnya dapat dicegah. Dengan pengetahuan mengenai berbagai permasalahan kualitas daya, pihak produsen di sector industri akan dapat mengidentifikasi penyebab dari gangguan yang terjadi dan mengambil tindakan untuk memperbaiki hingga mencegah berulangnya permasalahan. Buku panduan ini mengidentifikasi jenis gangguan yang lazim terjadi dan mengganggu proses produksi di sektor industri. Juga akan dibahas dalam buku panduan, peralatan pendukung proses yang rentan terhadap gangguan kualitas daya berikut solusi untuk meningkatkan kompatibilitas peralatan tersebut terhadap variasi tegangan dan frekuensi.

Berlawanan dengan persepsi umum, tenaga listrik yang disalurkan oleh pihak produsen bukanlah penyebab utama dari gangguan proses industri yang berhubungan dengan kelistrikan. Fakta yang diperoleh dari studi yang dilakukan oleh Electric Power Research Institute (EPRI) menunjukkan bahwa hingga 80% dari seluruh permasalahan kualitas daya disebabkan oleh pemasangan penghantar atau pembumian yang tidak tepat, atau karena interaksi berbagai beban listrik yang berasal dari dalam lingkungan pabrik dan industri sendiri. Selain itu juga akan dibahas permasalahan pembumian yang lazim ditemui pada sistem distribusi tenaga listrik untuk industri, serta interferensi elektromagnetika. Penggunaan komponen elektronika yang sangat meluas dari berbagai peralatan rumah tangga yang sederhana hingga perangkat kontrol untuk proses-proses industri yang sangat besar dan berbiaya tinggi, telah membangkitkan kesadaran terhadap kualitas daya. Gangguan kualitas daya secara umum didefinisikan sebagai perubahan pada karakteristik daya (tegangan, arus, atau frekuensi) yang menyebabkan gangguan terhadap operasi normal berbagai peralatan listrik. Ketahanan peralatan yang mengkonsumsi daya listrik akan menentukan derajat kualitas daya yang diperlukan untuk menjamin operasi normal.

http://repository.unimus.ac.id

Dalam pemodelan sistem tiga fasa tidak seimbang, nilai impedansi saluran perlu untuk diperhatikan sebagai keakuratan dalam studi aliran daya. Untuk pemodelan saluran distribusi tiga fasa terdapat pada gambar 2.1 yang menunjukkan saluran tiga fasa antara bus i dan j.



Gambar 2.3 Pemodelan Saluran 3 Fasa

2.4 Kualitas Daya Listrik

Perhatian terhadap kualitas daya listrik dewasa ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi listrik dan utilitas kelistrikan. Istilah kualitas daya listrik telah menjadi isu penting pada industri tenaga listrik sejak akhir 1980-an. Istilah kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan.

Terdapat empat alasan utama, mengapa para ahli dan praktisi di bidang tenaga listrik memberikan perhatian lebih pada isu kualitas daya listrik (Roger C. Dugan, 1996), yaitu :

1. Pertumbuhan beban-beban listrik dewasa ini bersifat lebih peka terhadap kualitas daya listrik seperti sistem kendali dengan berbasis pada mikroprosesor dan perangkat elektronika daya.

http://repository.unimus.ac.id

2. Meningkatnya perhatian yang ditekankan pada efisiensi sistem daya listrik secara menyeluruh, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan peralatan yang mempunyai efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor untuk perbaikan faktor daya. Penggunaan peralatan – peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatkan terhadap tingkat harmonik pada sistem daya listrik, di mana para ahli merasa khawatir terhadap dampak harmonisa tersebut di masa mendatang yang dapat menurunkan kemampuan dari sistem daya listrik itu sendiri.

3. Meningkatnya kesadaran bagi para pengguna energi listrik terhadap masalah kualitas daya listrik. Para pengguna utilitas kelistrikan menjadi lebih pandai dan bijaksana mengenai persoalan seperti *interupsi, sags*, dan peralihan transien dan merasa berkepentingan untuk meningkatkan kualitas distribusi daya listriknya.

4. Sistem tenaga listrik yang saling berhubungan dalam suatu jaringan interkoneksi, di mana sistem tersebut memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen dapat mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.

Terdapat beberapa definisi yang berbeda terhadap pengertian tentang kualitas daya listrik, tergantung kerangka acuan yang digunakan dalam mengartikan istilah tersebut. Sebagai contoh suatu pengguna utilitas kelistrikan dapat mengartikan kualitas daya listrik sebagai keandalan, di mana dengan menggunakan angka statistik 99,98%, sistem tenaga listriknya mempunyai kualitas yang dapat diandalkan. Suatu industri manufaktur dapat mengartikan kualitas daya listrik adalah karakteristik dari suatu catu daya listrik yang memungkinkan peralatan-peralatan yang dimiliki industri tersebut dapat bekerja dengan baik. Karakteristik yang dimaksud tersebut dapat menjadi sangat berbeda untuk berbagai kriteria.

Salah satu penyebab terjadinya kesalahan pada kualitas daya listrik adalah karena ketidakseimbangan Tegangan. Sebuah sistem tenaga listrik 3 fasa yang seimbang

Page 12 of 35
http://repository.unimus.ac.id

adalah system dimana tegangan tiap fasanya yang diukur dari fasa ke netral memiliki besar magnitut yang sama dan memiliki perbedaan sudut fasa sebesar 120^0 seperti pada gambar (2.1). Sistem yang memiliki perbedaan pada besar magnitut dan sudut fasa yang tidak berbeda 120^0 dapat dikatakan sebuah sistem yang tidak seimbang seperti pada gambar 2.1. (Gosbell, 2002). Ketidakseimbangan tegangan merupakan salah satu permasalahan kualitas daya listrik pada sistem tiga fasa yang umumnya terjadi di system distribusi karena pembebanan fasa yang tidak merata sehingga menimbulkan drop tegangan pada tiap fasa yang berbeda. Ketidakseimbangan tegangan artinya tegangan yang tersedia di ketiga *fasa* tidak sama, ini dapat terjadi pada sistem distribusi dimana saja. Ini dapat menimbulkan masalah serius pada motor dan peralatan-peralatan listrik dengan sistem induksi tiga *fasa*. Kondisi *balance* secara sempurna tidak akan pernah tercapai, namun harus diminimalkan .

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik. Daya adalah suatu nilai dari energi listrik yang dikirimkan dan didistribusikan, di mana besarnya daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian besarnya tegangan dan arus listriknya. Sistem suplai daya listrik dapat dikendalikan oleh kualitas dari tegangan, dan tidak dapat dikendalikan oleh arus listrik karena arus listrik berada pada sisi beban yang bersifat individual, sehingga pada dasarnya kualitas daya adalah kualitas dari tegangan itu sendiri (Roger C. Dugan, 1996).

Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah (Roger C. Dugan, 1996) :

1. Gejala Peralihan (*Transient*), yaitu suatu gejala perubahan variabel (tegangan, arus dan lain-lain) yang terjadi selama masa transisi dari keadaan operasi tunak (*steady state*) menjadi keadaan yang lain.

Page 13 of 35
http://repository.unimus.ac.id

2. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek (Short-Duration Variations), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan dalam waktu yang singkat yaitu kurang dari 1 (satu) menit.
3. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (Long-Duration Variations), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama yaitu lebih dari 1 (satu) menit.
4. Ketidakseimbangan Tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya
5. Distorsi Gelombang, adalah gejala penyimpangan dari suatu gelombang (tegangan dan arus) dari bentuk idealnya berupa gelombang sinusoidal
6. Fluktuasi Tegangan, adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematik.
7. Gejala Perubahan Frekuensi Daya yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.

Secara umum, transien dapat digolongkan menjadi dua kategori, yaitu impulsif dan osilasi. Terminologi-terminologi ini merefleksikan bentuk gelombang dari arus atau tegangan transien. Tegangan transien yang disebabkan oleh petir atau operasi *switch* dapat mengakibatkan degradasi atau kegagalan dielektrik semua kelas dari peralatan. Magnitudo dan cepatnya tegangan transien sangat berperan menyebabkan terjadinyakebocoran isolasi dalam peralatan-peralatn listrik seperti motor listrik, transformator, kapasitor, kabel, Taro arus (CT), Trafo tegangan (PT), dan switchgear. Magnitudo yang lebih rendah dari tegangan transien mempunyai efek lebih rendah yang menyebabkan degradasi atau kegagalan isolasi. Pada peralatan elektronik, kerusakan komponen power suplai dapat diakibatkan oleh tegangan transien. Tegangan transien juga dapat menyebabkan relay proteksi bekerja dan menyebabkan trip.

2.4.1 Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang

Gejala perubahan tegangan durasi panjang mempunyai waktu penyimpangan terhadap frekuensi dayanya selama lebih dari 1 menit. Jenis dari gejala variasi durasi

Page 14 of 35
http://repository.unimus.ac.id

panjang ada 3 (tiga), yaitu *interuption*, *undervoltages*, dan *overvoltages*. Gejala perubahan tegangan durasi panjang umumnya berasal bukan dari kesalahan atau gangguan sistem, tetapi disebabkan oleh perubahan beban pada sistem dan pada saat pengoperasian pensaklaran sistem. Gejala perubahan tegangan durasi panjang biasanya ditampilkan sebagai grafik tegangan rms terhadap waktu (Roger C. Dugan, 1996).

1. *Overvoltage*

   Overvoltage atau tegangan lebih adalah suatu gejala peningkatan nilai tegangan rms bolak-balik sebesar lebih dari 110 persen pada frekuensi daya untuk waktu lebih dari 1 menit. *Overvoltages* biasanya akibat operasi pensaklaran beban (misalnya, switching dari sebuah beban besar atau kapasitor bank). *Overvoltage*dapat dihasilkan oleh terlalu lemahnya pengaturan tegangan yang dikehendaki terhadap sistem tenaga listrik tersebut atau kendali terhadap tegangan tidak memadai. Kesalahan pengaturan pada tap transformer juga dapat mengakibatkan tegangan lebih atau *overvoltages* pada sistem tenaga listrik (Roger C. Dugan, 1996).

2. *Undervoltage*

   Undervoltage adalah suatu gejala penurunan tegangan rms bolak-balik sebesar kurang dari 90 persen dari nilai tegangan nominal pada frekuensi daya untuk durasi lebih dari 1 menit. *Undervoltages* adalah hasil dari suatu peristiwa kembalinya keadaan overvoltage menuju keadaan normalnya. Sebuah operasi pensaklaran beban atau atau memutuskan bank kapasitor dapat menyebabkan *undervoltage*, sampai keadaan di mana peralatan pengaturan tegangan pada system tegangan tersebut dapat membawa kembali pada toleransi nilai tegangan yang standar. Keadaan *overload* atau beban lebih pada rangkaian dapat mengakibatkan penurunan tegangan atau *undervoltages* (Roger C. Dugan, 1996).

voltage unbalance = 100 x (deviasi max dari tegangan rata2) / (tegangan rata2) (2.14)

Page 15 of 35
http://repository.unimus.ac.id

Sumber utama *voltage unbalance* kurang dari 2% adalah adanya ketidakseimbangan beban fase tunggal pada rangkaian 3 fasa. Voltage imbalance dapat juga diakibatkan hasil dari anomali kapasitor bank seperti *blown fuse* pada salah satu fasa dari bank tiga fasa. *Voltage unbalance* yang parah (lebih besar dari 5%) dapat terjadi akibat beban fasa tunggal. Pada umumnya, utility menyediakan tegangan yang dijaga sehingga jarang terjadi *voltage unbalance*; karena ketidakseimbangan dapat menyebabkan gangguan suplai listrik dan efek pemanasan yang signifikan terhadap pembangkit, transmisi dan sistem distribusi. Ketidakseimbangan tegangan biasanya muncul pada pelanggan karena pengaturan beban yang tidak seimbang dalam beban satu fasa seperti tanur buses fasa tunggal. Dalam hal ini, mengakibatkan pemanasan berlebih pada motor dan trafo jika tidak dikoreksi. *Voltage unbalance* lebih besar dari 2% harus dikurangi, jika memungkinkan dengan mendistribusikan ulang beban fasa tunggal.

3. Interupsi Berkelanjutan (*Sustained Interruption*)

Pada saat tegangan suplai dari sebuah sistem tenaga menjadi nol untuk jangka waktu lebih dari 1 menit, maka gejala perubahan tegangan ini disebut interupsi atau pemadaman berkelanjutan. Gangguan tegangan yang terjadi lebih dari 1 menit merupakan gangguan permanen yang membutuhkan campur tangan tenaga teknisi untuk memperbaiki sistem tenaga tersebut, agar kembali menjadinormal seperti sebelum terjadinya gangguan. Istilah pemadaman berkelanjutan (*sustained interuption*) mengacu pada fenomena yang terjadi sistem tenaga listrik tertentu dan secara umum tidak ada hubungannya dengan penggunaan istilah *Outage*. Istilah *outage* lebih menerangkan keluarnya komponen dari sistem tenaga listrik, di mana hal ini lebih berhubungan dengan keandalan dari suatu system tenaga listrik (Roger C. Dugan, 1996).

http://repository.unimus.ac.id

2.5 Ketidaksetimbangan Tegangan

Ketidak-seimbangan tegangan (*voltage imbalance*, atau *voltage unbalance*) didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi maksimum dari nilai rata-rata tegangan sistem tiga fase tegangan atau arus listrik , dibagi dengan nilai rata-rata tegangan tiga fase atau arus tersebut, dan dinyatakan dalam persentase (Roger C. Dugan, 1996) Ketidak-seimbangan dapat didefinisikan menggunakan komponen simetris. Rasio atau perbandingan nilai tegangan komponen urutan negatif atauurutan nol dengan nilai tegangan komponen urutan positif dapat digunakan untuk menentukan persentase ketidakseimbangan (J. Schlabbach dkk, 2000). Besarnya ketidak-seimbangan tegangan yang pada sumber utama tidak boleh lebih dari 2 persen (J. Schlabbach dkk, 2000). Nilai kritis dari keadaan ketidakseimbangan tegangan adalah jika nilai persentase perbandingannya melebihi 5 persen, hal ini biasanya terjadi karena terputusnya salah satu fasa dari sistem tenaga listrik tiga fasa (Roger C. Dugan, 1996). Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

1. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120º satu sama lain.

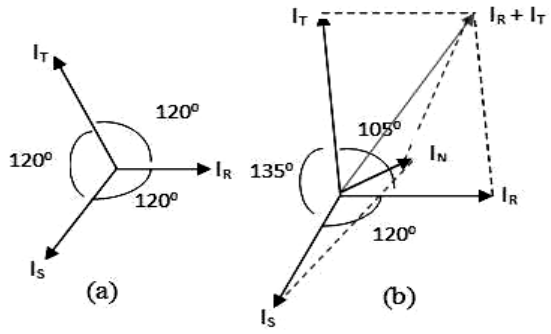
Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120º satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120º satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120º satu sama lain.

Gambar 2.4(a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR, IS, IT) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (IN). Sedangkan pada Gambar 2.4(b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR, IS, IT) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran

http://repository.unimus.ac.id

yaitu arus netral (IN) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.



Gambar 2.4 Vektor diagram arus

Tegangan tak seimbang artinya tegangan yang tersedia di ketiga fasanya tidak sama, ini dapat terjadi di sistem distribusi dimana saja. Ini dapat menimbulkan problem serius pada motor dan peralatan-peralatan listrik dengan sistem induksi tiga fasa. Memang kondisi seimbang secara sempurna tidak akan pernah tercapai, namun harus diminimalkan. Kondisi tak seimbang lebih sering disebabkan oleh variasi dari beban. Ketika beban satu fasa dengan fasa lain berbeda, maka saat itulah kondisi tak seimbang terjadi. Hal ini mungkin disebabkan oleh impendansi, type beban, atau jumlah beban berbeda satu fasa dengan fasa lain. Misal satu fasa dengan beban motor satu fasa, fasa lain dengan heater dan satunya dengan beban lampu atau kapasitor. Jika motor hanya satu fasa saja yang berfungsi pada motor 3 fasa akan berakibat motor "overheating", karena arus menjadi sangat besar sedang kemampuan output turun. Ketika motor beroperasi dibeban penuh sedangkan yang berfungsi hanya 1 fasa maka motor mengalami "stall" kemudian stop atau mandeg. Dalam kondisi stall timbulah arus listrik yang sangat besar (overcurrent) dan menghasilkan kenaikan panas yang besar dan cepat.

Jika proteksi motor tidak bekerja maka kerusakan stator dan rotor akan hangus (*overheating*). Cara yang paling efektif untuk memecahkan masalah motor mengalami panas berlebih karena ketidakseimbangan tegangan adalah dengan menghilangkan ketidakseimbangan tersebut. Pada dasarnya ketidakseimbangan ini dapat disebabkan oleh tidak seimbangnya beban satu fasa, koneksi rusak, atau kerusakan regulator

Page 18 of 35
http://repository.unimus.ac.id

tegangan. Masing-masing kemungkinan harus diselidiki untuk menghilangkan sumber ketidakseimbangan tersebut. Proteksi seharusnya dipasang disetiap fasa agar lebih aman. Langkah pertama test tegangan tak seimbang yaitu dengan mengukur tegangan antar line di terminal mesin. Juga ukurlah arus di tiap fasa, karena arus tak seimbang bahkan dapat mencapai 6 -10 kali lebih besar dari tegangan tak seimbang.

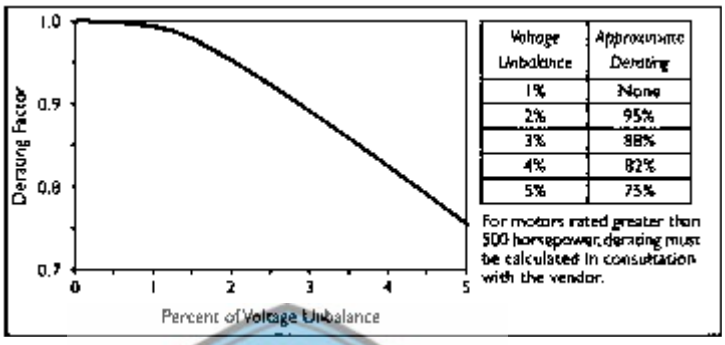
Tegangan tak seimbang kebanyakan disebabkan oleh distribusi beban tidak sama satu fasa dengan fasa lain, cara memperbaiki ialah dengan mengurangi beban fasa yang ketinggian dan menambahkan beban pada fasa rendah, sehingga menghasilkan beban yang sedapat mungkin seimbang. Beban yang paling umum pada satu phase ialah dari beban penerangan (*lighting*) dan mesin las (*welder*). Juga perlu di periksa fuse pada capasitor bank (*power factor improvement capasitor*). Jika ketidakseimbangan tegangan tidak bisa dihilangkan, motor harus derated (dioperasikan lebih rendah dari kemampuannya) untuk melindungi agar motor bisa bertahan lebih lama.

Standar NEMA (The National Electrical Manufacturers Association) MG 1-14,35 merekomendasikan untuk melakukan derating pada sebuah motor induksi ketika mengalami ketidakseimbangan tegangan melebihi 1 % dan pengoperasian motor sama sekali tidak direkomendasikan derating ketika ketidakseimbangan tegangan melebihi 5 %. Jika motor tidak dilengkapi dengan detektor suhu atau jika kemudian akan memasukkan detektor yang ternyata tidak cocok/tidak sesuai dengan skema proteksi motor tersebut, maka pengguna motor harus berkonsultasi dengan produsen motor untuk menentukan tingkat maksimum arus tidakseimbang untuk semua kondisi pembebanan untuk mengeset detektor suhu agar terintegrasi dengan kondisi beban motor. Sebagai contoh, dampak dari terjadinya arus tidakseimbang sebesar 10 % pada motor yang dibebani penuh lebih besar dari dampak pada motor yang sama, kalau motor tersebut hanya dibebani 50 %. Pada dasarnya, operasi motor selama kondisi tegangan tidak seimbang membutuhkan motor yang akan di*derated*.

Untuk motor standar, NEMA memberikan panduan untuk derating. Untuk tegangan tidak seimbang antara 1 % - 5 %, NEMA MG-1-1993 merekomendasikan derating motor sesuai dengan grafik yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5. NEMA belum

Page 19 of 35
http://repository.unimus.ac.id

membentuk sebuah grafik derating untuk motor hemat energi. Namun, karena motor hemat energi memiliki kerugian yang lebih rendah selama tegangan seimbang serta kondisi tegangan tidak seimbang, penerapan grafik derating pada Gambar 2.5 untuk motor hemat energi akan menghasilkan factor derating konservatif.



Voltage Unbalance	Approximate Derating
1%	None
2%	95%
3%	88%
4%	82%
5%	75%

For motors rated greater than 500 horsepower, derating must be calculated in consultation with the vendor.

Gambar 2.5 Tabel dan Grafik Derating untuk Motor Induksi atas dasar Persentase Tegangan Tak Seimbang (from NEMA MG.1-1993).

NEMA mendefinisikan rumus untuk ketidakseimbangan tegangan tiga-fasa adalah 100 kali deviasi maksimum tegangan dari tegangan rata-rata ketiga fasa dibagi dengan rataratanya. Baik ketidakseimbangan tegangan maupun arus dapat dihitung dengan menggunakan proses tiga langkah. Pertama, mengukur tegangan fasa-ke-fasa dan arus dari ketiga fase di titik penggunaan. Kedua, menghitung rata-rata ketiga fasa. Ketiga, menentukan persentase ketidakseimbangan. Sebagai contoh, jika yang terukur di line tegangan adalah 462, 463, dan 455 volt, maka rata-rata adalah 460 volt dan maksimum deviasi dari rata-rata adalah 5 volt (460-455). Oleh karena itu, ketidakseimbangan tegangan (5 / 460) x 100 = 1,1 persen. Selain itu, perlu juga diperhatikan ketika motor distart, motor memerlukan daya awal yang sangat tinggi, mungkin dapat mencapai beberapa kali atau lebih dari 5 kali. Arus tinggi menimbulkan panas dan thermal shock, sehingga jika ini dilakukan ber-kali2 dan tanpa ada jedah waktu, maka berakibat sangat buruk terhadap winding motor, overheating. Sehingga sangatlah perlu mendapat perhatian serius perihal start dan stop semua motor listrik agar kerusakan fatal dapat dihindari. Menurut peraturan NEMA *(National Electrical Manufacturers Association of USA). Unbalance Under Voltage* Dan *Unbalance Over Voltage* Nilai persentase *line*

http://repository.unimus.ac.id

voltage unbalance rate (LVUR) dari ketidakseimbangan tegangan 3 fasa dapat dihitung dengan nilai selisih terbesar dari nilai rata tegangan fasa-fasa dibagi nilai rata tegangan fasa-fasanya dengan nilai sudut fasa diabaikan seperti pada persamaan (2.15). Dalam standar *Motor dan Generator MG1 part 14.36* memberikan rekomendasi bahwa motor dapat dioperasikan secara normal pada kapasitas rated jika *unbalance voltage* tidak lebih dari 1%.

$$\%LVUR = \frac{Vline\ tertinggi - Vline\ rerata}{Vline\ Rerata} \text{ X } 100\% \qquad (2.15)$$

Menurut Standar *The National Standard for Electric Power System and Equipment ANSI Std C84.1* dimana *unbalance voltage* maksimal sebesar 5% yang diperbolehkan di system tenaga listrik. Adapun cara menghitung *unbalance voltage* dapat dilihat pada persamaan 2.16.

$$\%Unb_{volt} \frac{deviation\ from\ average\ voltage}{average\ voltage} X100\% \qquad (2.16)$$

Dengan :

$\%Unb_{volt}$: Nilai % unbalance voltage Deviation from average voltage : selisih antara tegangan rata-rata dengan tegangan *fasa* terendah (selisish tegangan terbesar. Average voltage: rata-rata tegangan ketiga *fasa* (*fasa* R, *fasa* S, *fasa* T).

Penyebab umum ketidakseimbangan pada Motor 3 fasa dikarenakan oleh kehilangan fasa akibat Fuse terbuka, konektor atau konduktor terbuka. Ketidakseimbangan pada beban dapat pula mempengaruhi Motor. Ketidak seimbangan tegangan sebesar 3,5% akan mengakibatkan kenaikan 25% atau lebih temperatur Motor. Hal ini terutama akibat arus urutan negatif yang dihasilkan oleh ketidak seimbangan. Arus ini menimbulkan fluks pada celah udara Motor, berputar berlawanan arah putaran Motor sesungguhnya. Efek kulit meyebabkan resistansi tinggi, dan seperti disebut diatas, impedansi urutan negatif merupakan hal penting pada harga rotor terkunci. Jadi arus tinggi akan menimbulkan pengaruh pemanasan.

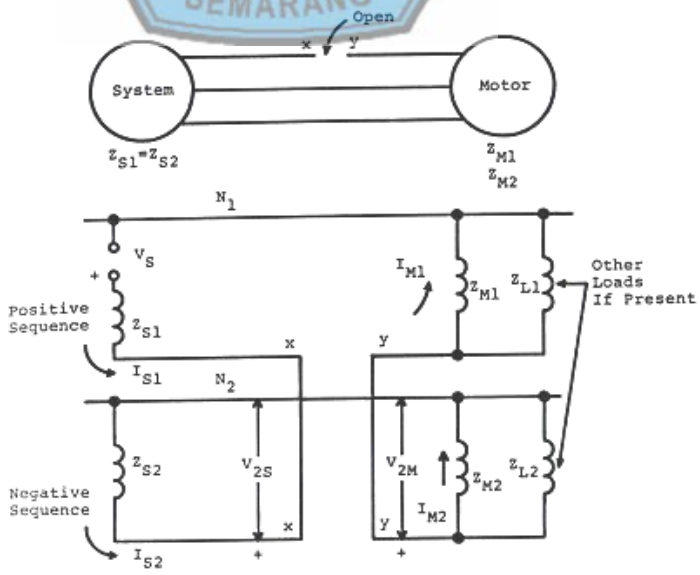
Total pemanasan pada Motor sebanding dengan: $I_1^2t + KI_2^2t$

http://repository.unimus.ac.id

Dimana I_1 dan I_2 adalah arus-arus urutan positif dan negatif, dan K adalah:

$$K = \frac{R_{r2}}{R_{r1}} = \text{estimasi konservatif adalah } \frac{175}{I_{LR}^2}$$

Dimana R_{r1} dan R_{r2} adalah resistansi urutan positif dan negatif dari rotor Motor. I_{LR} arus rotor terkunci dalam pu. Persamaan diatas menunjukkan bahwa komponen urutan negatif mempengaruhi kenaikan temperatur Motor. Jaringan komponen simetris untuk satu fasa terbuka ditunjukkan pada Gambar 2.6. Ini adalah sirkit yang merupakan penyederhanaan dari suatu sistem yang direpresentasikan dengan sebuah sumber dengan impedansinya $Z_{S1} = Z_{S2}$. Untuk kasus-kasus spesifik, sirkit ini dapat diekspansi untuk menunjukkan detail yang ada dari sumber atau beban. Transformator dapat direpresentasikan dengan reaktansinya, X_{TR} atau X_T. Untuk keadaan fasa terbuka antara Transformator dan Motor, X_T harus ditambahkan secara seri dengan impedansi sumber sebagai harga ekivalen Z_{S1} dan Z_{S2}. Bilamana fasa terbuka terjadi diantara sisitem dan Transformator, X_T tidak termasuk dalam ekivalen sumber, tetapi ditambahkan secara seri dengan impedansi Motor. Sirkit ini untuk Motor yang tidak ditanahkan, seperti umumnya dipakai. Jaringan urutan nol tidak terlibat pada keadaan satu fasa terbuka, kecuali kedua sisi sistem maupun Motor ditanahkan.



Gambar 2.6 Representasi komponen simetris yang disederhanakan pada fasa terbuka.

http://repository.unimus.ac.id

Distribusi arus untuk fasa terbuka menggunakan jaringan pada Gambar 2.6 yang ditunjukkan untuk beberapa kasus. Tipikal harga perunit impedansi berdasarkan dasar kVA Motor dan adalah:

$Z_{S1} = Z_{S2} = 0,05\angle 90^0\ pu$

$Z_{L1} = Z_{L2} = 1,0\angle 15^0\ pu$

$Z_{M2} = 0,90\angle 25^0$

$Z_{M2} = 0,15\angle 85^0$

Putaran Motor yang masih berkelanjutan akan membangkitkan tegangan pada fasa terbuka. Hal ini sama saja dengan memberikan tegangan secara kontinyu pada beban yang terhubung pada fasa tersebut. Daya yang dialihkan sepanjang celah udara Motor akan mengurangi daya shft Motor sehingga terjadi hentakan. Satu contoh memperlihatkan bahwa Motor akan menarik 20% dari rating beban dengan beban statis tiga kali lebih besar dari beban Motor atau pada 50% dari rating beban dengan beban statis sama dengan beban Motor. Dengan kata lain, rendahnya impedansi urutan negatif Motor berarti bahwa bagian terbesar dari arus urutan negatif mengalir ke Motor yang mengakibatkan kenaikan pemanasan. Arus urutan negatif Motor dapat saja lebih rendah hanya apabila beban statis adalah beban satu fasa. Hal mendasar dalam fasa terbuka adalah bahwa arus urutan positif dan negatif sama dan berlawanan sepanjang arus urutan nol tidak terlibat. Hal ini sangat berguna untuk mengembangkan/membangkitkan arus tidak seimbang melalui bank Transformator hubungan delta – wyei. Hal tersebut adalah untuk kondisi sesaat setelah fasa terbuka dan sebelum Motor melambat, stall, atau impedansi internal berubah, dan seterusnya.

http://repository.unimus.ac.id

2.6 Jaringan Saraf Tiruan

JST adalah system komputasi dimana arsitektur dan operasi diilhami dari pengetahuan tentang sel syaraf biologi di dalam otak. Hal tersebut menjadikan JST sangat cocok untuk menyelesaikan masalah dengan tipe sama seperti otak manusia. Suatu jaringan syaraf tiruan ditentukan oleh 3 hal:

1. Pola – pola hubungan antar *neuron* yang disebut arsitektur jaringan.
2. Metode penentuan bobot penghubung yang disebut metode *training / learning* / algoritma.
3. Fungsi sktivasi yang digunakan.

2.6.1 Neuron

Neuron adalah unit yang memproses informasi yang menjadi dasar dalam pengoperasian jaringan syaraf tiruan. Neuron terdiri dari 3 elemen pembentuk:

1. Himpunan unit – unit yang dihubungkan dengan jalur koneksi. Jalur – jalur tersebut memiliki bobot/kekuatan yang berbeda – beda. Bobot yang bernilai positif akan memperkuat sinyal dan yang bernilai negative akan memperlemah sinyal yang dibawa.
2. Suatu unit penjumlah yang akan menjumlahkan input – input sinyal yang sudah dikalikan dengan bobotnya.
3. Fungsi aktifasi yang menentukan keluaran dari sebuah neuron.

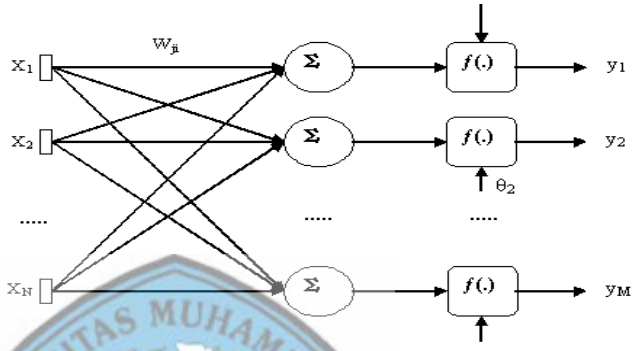
2.6.2 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan.

Berdasarkan jumlah lasyar, arsitektur jaringan syaraf tiruan dapat diklasifikasikan menjadi dua kelas yang berbeda, yaitu jaringan layar tunggal (*single layer network*) dan jaringan layar jamak (*multi layer network*).

http://repository.unimus.ac.id

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

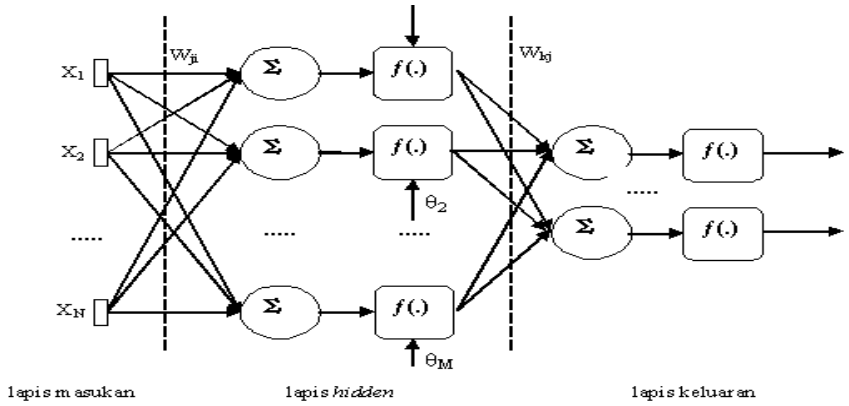
Semua unit input dalam jaringan ini dihubungkan dengan semua unit output, meskipun dengan bobot yang berbeda – beda. Jaringan layar tunggal ditunjukan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Jaringan Layar Tunggal

2. Jaringan Layar Jamak (*Multi Layer Network*)

Jaringan layar jamak merupakan perluasan dari layar tunggal. Jaringan layar jamak memperkenalkan satu atau lebih layar tersembunyi (*hidden layer*) yang mempunyai simpul yang disebut *neuron* tersembunyi (*hidden neuron*). Jaringan layar jamak ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Jaringan Tiga Layar.

Page 25 of 35
http://repository.unimus.ac.id

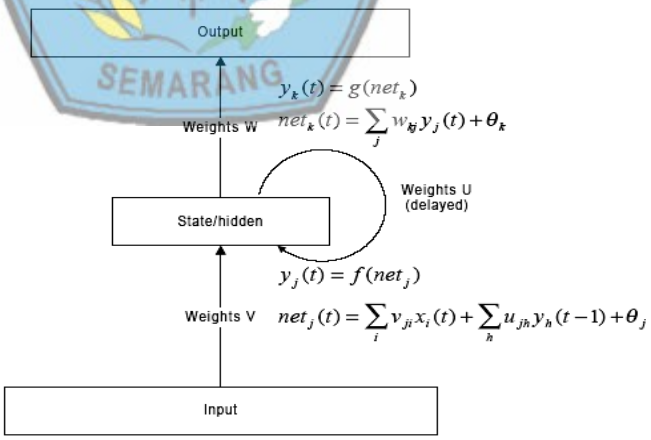
Berdasarkan arah aliran sinyal masukan, arsitektur jaringan syaraf tiruan dapat diklasifikasikan menjadi duan kelas yang berbeda, yaitu jaringan umpan maju (*feedforward network*) dan jaringan dengan umpan balik (*recurrent network*).

3. Jaringan Umpan Maju (*feedforward network*)

Dalam jaringan umpan maju, sinyal mengalir dari unit input ke unit output dalam arah maju. Jaringan layar tunggal dan jaringan layar jamak yang ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 merupakan contoh jaringan umpan maju.

4. Jaringan dengan Umpan Balik (*recurrent network*)

Pada jaringan *recurrent* terdapat neuron output yang memberikan sinyal pada unit input (sering disebut *feedback loop*). Jaringan syaraf tiruan *recurrent* ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Jaringan Syaraf Tiruan *Recurrent*

Page 26 of 35
http://repository.unimus.ac.id

2.6.3 Fungsi Aktivasi

Beberapa fungsi aktifasi (f(x) = keluaran fungsi aktifasi dan x = masukan fungsi aktifasi) yang sering dipakai sebagai berikut :

1. Fungsi *threshold* (batas ambang)

   Pada fungsi *threshold* nilai variable terhadap sebuah unit output berupa angka biner (1 atau 0). Fungsi *threshold* dirumuskan sebagai:

$$f(\mathrm{x}) = \begin{cases} 1, \; jikax \geq \theta \\ 0, \; jikax < \theta \end{cases} \tag{2.17}$$

   Untuk beberapa kasus, fungsi *threshold* yang dibuat tidak berharga 0 atau 1, tapi berharga -1 atau 1 (sering disebut *threshold bipolar*) sehingga:

$$f(\mathrm{x}) = \begin{cases} 1, \; jikax \geq \theta \\ -1, \; jikax < \theta \end{cases} \tag{2.18}$$

2. Fungsi *sigmoid biner*

   Fungsi *sigmoid biner* dirumuskan sebagai:

$$f(\mathrm{x}) = \frac{1}{1+e^{-x}} \tag{2.19}$$

$$f(\mathrm{x}) = f(\mathrm{x})(1 - f(\mathrm{x})) \tag{2.20}$$

3. Fungsi *sigmoid bipolar*

   Persamaan fungsi *sigmoid bipolar* adalah sebagai berikut:

$$g(\mathrm{x}) = \frac{1-e^{-x}}{1+e^{-x}} \tag{2.21}$$

$$g(\mathrm{x}) = \frac{[1+g(\mathrm{x})][1-g(\mathrm{x})]}{2} \tag{2.22}$$

Page 27 of 35
http://repository.unimus.ac.id

4. Fungsi identitas

Fungsi identitas dirumuskan sebagai:

$$f(x) = x \tag{2.23}$$

2.6.4 Pengaturan Bobot

Secara umum ada dua macam metode pelatihan, yaitu pelatihan terbimbing (*supervised training*) dan pelatihan tak terbimbing (*unsupervised training*).

1. Pelatihan Terbimbing

   Dalam pelatihan terbimbing, terdapat sejumlah pasangan data (masukan – target keluaran) yang dipakai untuk melatih jaringan hingga diperoleh bobot yang diinginkan. Pasangan data tersebut berfungsi sebagai ‘’guru’’ untuk melatih jaringan hingga diperoleh bentuk yang terbaik. ‘’Guru’’ akan memberikan informasi yang jelas tentang bagaimana system harus mengubah dirinya untuk meningkatkan unjuk kerjanya. Pada setiap kali pelatihan, suatu input diberikan ke jaringan. Jaringan akan memproses dan mengeluarkan keluaran. Selisih antara keluaran jaringan dengan target (keluaran yang diinginkan) merupakan error yang terjadi. Jaringan akan memodifikasi bobot sesuai dengan error tersebut.

2. Pelatihan Tak Terbimbing

   Dalam pelatihan tak terbimbing, tidak ada ‘’guru’’ yang akan mengarahkan proses pelatihan. Dalam pelatihannya, perubahan bobot jaringan dilakukan berdasarkan parameter tertentu dan jaringan dimodifikasi menurut ukuran parameter tersebut.

2.7 *Backpropagation*

Model jaringan backpropagation merupakan suatu teknik pembelajaran atau pelatihan *supervised leaning* yang paling banyak digunakan. Metode ini merupakan

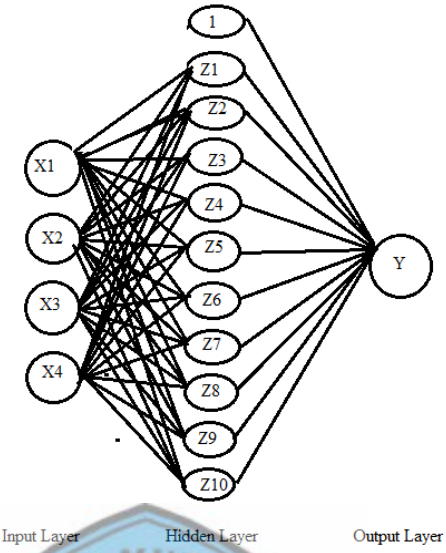
Page 28 of 35
http://repository.unimus.ac.id

salah satu metode yang sangat baik dalam menangani masalah pengenalan pola-pola kompleks. Didalam jaringan *backpropagation*, setiap unit yang berada di lapisan *input* berhubungan 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 pelatihan, maka pola tersebut menuju unit-unit lapisan tersembunyi untuk selanjutnya diteruskan pada unit-unit dilapisan keluaran. Kemudian unit-unit lapisan keluaran akan memberikan respon sebagai keluaran jaringan syaraf tiruan. Saat hasil keluaran tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka keluaran akan disebarkan mundur (*backward*) pada lapisan tersembunyi kemudian dari lapisan tersembunyi menuju lapisan masukan. Tahap pelatihan ini merupakan langkah untuk melatih suatu jaringan syaraf tiruan, yaitu dengan cara melakukan perubahan bobot, sedangkan penyelesaian masalah akan dilakukan jika proses pelatihan tersebut telah selesai, fase ini disebut fase pengujian (Puspaningrum, 2006).

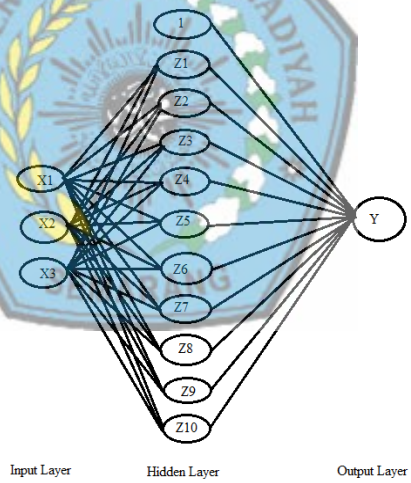
1. Arsitektur *Backpropation*

   Backpropagation memiliki beberapa unit yang ada dalam satu atau lebih layar tersembunyi. Gambar 2.10 adalah arsitektur *Backpropagation* dengan n buah masukan (ditambah sebuah bias), sebuah layar tersembunyi yang terdiri dari p unit (ditambah sebuah bias), serta m buah unit keluaran.

Page 29 of 35
http://repository.unimus.ac.id



Gambar 2.10 Contoh Arsitektur *Backpropagation* 4 input, 10 hidden, 1 output.



Gambar 2.11 Contoh Arsitektur *Backpropagation* 3 input, 10 hidden, 1 output.

2. Algoritma Dasar Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation*

Pelatihan *Backpropagation* meliputi 3 fase. Fase pertama adalah fase maju. Pola masukan dihitung maju mulai dari layar masukan hingga layar keluaran menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur. Selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan merupakan eror yang

http://repository.unimus.ac.id

terjadi. Error tersebut dipropagasikan mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit – unit di layar keluaran. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan error yang terjadi.

3. Algoritma pelatihan untuk jaringan dengan satu layar tersembunyi

Algoritma pelatihan untuk jaringan dengan satu layar tersembunyi (dengan fungsi aktifasi *sigmoid biner*) adalah sebagai berikut:

Langkah 0 : Semua bobot diinisialisasi dengan bilangan acak kecil.

Langkah 1 : Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, melakukan langkah 2 – 9.

Langkah 2 : Untuk setiap pasangan data pelatihan, melakukan langkah 3 – 8.

Propasi Maju :

Langkah 3 : Setiap unit masukan (X_i) menerima sinyal dan meneruskan sinyal ini ke unit tersembunyi diatasnya.

Langkah 4 : Menghitung semua keluaran di unit tersembunyi Z_j (j=1,2,…,p).

$$z_net_j - v_{j0} + \sum_{i=1}^{n} z_j w_{kj} \tag{2.24}$$

$$z_j - f(\text{z_net}_j) - \frac{1}{1+e^{-z_net_j}} \tag{2.25}$$

Langkah 5 : Menghitung semua keluaran jaringan di unit Y_k (k=1,2,…,m).

$$y_net_k - w_{k0} + \sum_{j-1}^{p} x_i v_{ji} \tag{2.26}$$

$$y_k - f(\text{y_net}_k) - \frac{1}{1+e^{-y_net_k}} \tag{2.27}$$

Propagasi mundur:

Langkah 6 : Menghitung factor δ unit keluaran berdasarkan error disetiap unit keluaran Y_k

$$\delta_k - (\text{t}_k - \text{y}_k)\,\text{f'(y_net}_k) - (\text{t}_k - \text{y}_k)\,\text{y}_k(1 - \text{y}_k) \tag{2.28}$$

Faktor δ_k merupakan error yang akan dipakai dalam perubahan bobot layer dibawahnya (langkah 7). Kemudian menghitung koreksi bobot

http://repository.unimus.ac.id

(digunakan untuk mengubah W_{jk} selanjutnya) dengan laju pembelajaran merupakan salah satu parameter JST yang harus ditentukan sebelumnya.

$$\Delta w_{kj} - a\delta_k z_j \quad (2.29)$$

Menghitung koreksi bias

$$\Delta w_{k0} - a\delta_k \quad (2.30)$$

Dan mengirim nilai δ_k ke lapisan tersembunyi.

Langkah 7 : Menghitung factor δ unit tersembunyi berdasarkan error di setiap unit tersembunyi.

$$\delta_net_j - \sum_{k-1}^{m} \delta_k w_{kj} \quad (2.31)$$

Mengalikan engan turunan fungsi aktivasi untuk menghitung informasi error.

$$\delta_j - \delta_net_j f'(z_net_j) \quad (2.32)$$

Menghitung koreksi bobot (digunakan untuk mengubah V_{ij} selanjutnya)

$$\Delta v_{iji} - a\delta_j x_i \quad (2.33)$$

Dan menghiung koreksi bias (digunakan untuk mengubah V_{0j} selanjutnya).

$$\Delta v_{j0} - a\delta_j \quad (2.34)$$

Memperbarui bobot dan bias :

Langkah 8 : Tiap unit keluaran mengubah bias dan bobot – bobotnya

$$w_{kj}(\text{baru}) - \text{w}_{kj}(\text{lama}) + \Delta\,\text{w}_{kj} \quad (2.35)$$

Tiap unit tersembunyi (Z_j) mengubah bias dan bobot (i)

Page 32 of 35
http://repository.unimus.ac.id

$$v_{ji}(\text{baru}) - v_{ji}(\text{lama}) + \Delta v_{ji} \tag{2.36}$$

Langkah 9 : Uji syarat henti jika besar jumlah error kuadrat (*sum squared error*) lebih kecil dari toleransi yang ditentukan maka proses akan berhenti.

$$\sum_{k-1}^{n} (\mathrm{t}_k - \mathrm{y}_k)^2 \le e \tag{2.37}$$

Sedangkan jika jumlah error kuadrat lebih besar dari toleransi yang ditentukan, maka akan kembali ke langkah 1.

4. Algoritma pelatihan BP dengan Metode *Levenberg-Marquardt*

Algoritma *Levenberg-Marquardt* didesain untuk mendekati kecepatan pelatihan orde dua tanpa harus menghitung matrik Hessian. Matrik Hessian dapat diaproksikan sebagai :

$$H - J^T J \tag{2.38}$$

Dan gradient dihitung sebagai :

$$g - J^T e \tag{2.39}$$

dimana J adalah matrik Jacobian yang terdiri dari derivative pertama dari error jaringan yang mengacu pada bobot dan bias, dan e adalah vector error jaringan. Matrik Jacobian dapat dihitung dengan teknik *backpropagation* standar yang lebih sederhana dibandingkan dengan perhitungan matrik Hessian.

Algoritma *Levenberg-Marquardt* menggunakan pendekatan terhadap matrik Hessian sebagai berikut :

$$x_k + x_k - [H + \mu I]^{-1} g \tag{2.40}$$

Page 33 of 35
http://repository.unimus.ac.id

Dimana jika scalar μ (mu) adalah nol, maka metode ini sama dengan metode Newton, menggunakan matrik Hessian.

2.8 Menghitung Kesalahan Peramalan

Ada beberapa perhitungan yang biasa dipergunakan untuk menghitung kesalahan peramalan (forecast error) total. Perhitungan ini dapat dipergunakan untuk membandingkan model peramalan yang berbeda, juga untuk mengawasi peramalan, untuk memastikan peramalan berjalan dengan baik. Model-model peramalan yang dilakukan kemudian divalidasi menggunakan sejumlah indikator. Indikator-indikator yang umum digunakan adalah rata-rata penyimpangan absolut (Mean Absolute Deviation), dan rata-rata kuadrat terkecil (Mean Square Error).

1. Mean Absolute Deviation (MAD)

   Metode untuk mengevaluasi metode peramalan menggunakan jumlah dari kesalahan-kesalahan yang absolut. Mean Absolute Deviation (MAD) mengukur ketepatan ramalan dengan merata-rata kesalahan dugaan (nilai absolut masing-masing kesalahan). MAD berguna ketika mengukur kesalahan ramalan dalam unit yang sama sebagai deret asli. Nilai MAD dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebegai berikut.

   $$MAD = \frac{\sum_{t=1}^{n} |x_t - x'_t|}{n} \quad (2.41)$$

2. Mean Squared Error (MSE)

   Mean Squared Error (MSE) adalah metode lain untuk mengevaluasi metode peramalan. Masing-masing kesalahan atau sisa dikuadratkan. Kemudian dijumlahkan dan ditambahkan dengan jumlah observasi. Pendekatan ini mengatur kesalahan peramalan yang besar karena kesalahan - kesalahan itu dikuadratkan. Metode itu menghasilkan kesalahan-kesalahan sedang yang kemungkinan lebih baik untuk kesalahan kecil, tetapi kadang menghasilkan

http://repository.unimus.ac.id

perbedaan yang besar. Mean Squared Error adalah rata-rata dari kesalahan forecast dikuadratkan, atau jika dituliskan dalam bentuk rumus adalah :

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n}(d_t - d_t')^2}{n} \quad (2.42)$$

3. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) dihitung dengan menggunakan kesalahan absolut pada tiap periode dibagi dengan nilai observasi yang nyata untuk periode itu. Kemudian, merata-rata kesalahan persentase absolut tersebut. Pendekatan ini berguna ketika ukuran atau besar variabel ramalan itu penting dalam mengevaluasi ketepatan ramalan. MAPE mengindikasi seberapa besar kesalahan dalam meramal yang dibandingkan dengan nilai nyata.

$$\text{MAPE} = \frac{\sum \frac{|e_i|}{X_i} \times 100\%}{n} = \frac{\sum \frac{|X_i - F_i|}{X_i} \times 100\%}{n} \quad (2.43)$$

Page 35 of 35
http://repository.unimus.ac.id