

# IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK SINYAL ARUS MOTOR INDUKSI TIGA FASE AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN (UNBALANCE VOLTAGE)

Siti Khoirotun Nisa, Dian Retno Sawitri, dan Herwin Suprijono  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro (UDINUS)  
Jl. Nakula 1-5, Semarang 60131

E-mail: nisasahaja25.ns@gmail.com, [drsawitri@dsn.dinus.ac.id](mailto:drsawitri@dsn.dinus.ac.id), [herwin.suprijono@gmail.com](mailto:herwin.suprijono@gmail.com)

**Abstrak**— Dalam dunia industri, motor induksi tiga fase memiliki peranan yang penting dan banyak digunakan dalam proses produksi, karena itu permasalahan atau gangguan yang sering muncul hendaknya diminimalisir untuk mengurangi kerugian yang lebih besar pada Industri. Gangguan yang sering muncul pada motor induksi salah satunya yaitu ketidakseimbangan tegangan (*Voltage Unbalance*). Ketidakseimbangan tegangan terjadi saat motor menerima sumber tegangan yang tidak seimbang, hal itu penyebab motor rusak. Penelitian dilakukan untuk dapat mengantisipasi terjadinya ketidakseimbangan tegangan dengan membuat sistem akuisisi data untuk mengetahui karakteristik Sinyal arus motor induksi tiga fase. Untuk penelitian yang dilakukan yaitu tiga jenis gangguan 3%, 6% dan 9% untuk ketidakseimbangan *over voltage* dan ketidakseimbangan *under voltage*.

Pada penelitian langkah identifikasi karakteristik ada 3 tahap yaitu: pengolahan data, penentuan fitur dan ekstraksi fitur. Proses pengolahan data menggunakan transformasi *wavelet* dan *Fast Fourier Transform* (FFT). Proses penentuan fitur menggunakan statistik. Proses ekstraksi fitur menggunakan metode *principle component analysis* (PCA). Gangguan ketidakseimbangan tegangan dengan persentase kecil menghasilkan ketidakseimbangan arus dengan persentase yang lebih besar. Untuk karakteristik harmonisa FFT didapatkan sinyal normal dikenali sampai harmonis ke-2 dan sinyal gangguan dikenali sampai sinyal harmonisa ke-3. Dan untuk karakteristik gangguan ketidakseimbangan tegangan dapat dianalisa dengan 8 fitur yang cocok untuk mewakili data gangguan ketidakseimbangan tegangan dari 19 fitur yang telah dibuat. Sedangkan 11 fitur yang mendekati nol dan di bawah nol dibuang karena terlalu kecil untuk dijadikan karakteristik.

**Kata kunci:** Motor Induksi 3 fase, Akuisisi Data, Sinyal Arus, Ketidakseimbangan tegangan.

## I. PENDAHULUAN

Motor induksi memiliki peran yang sangat penting dan paling banyak digunakan dalam kegiatan industri, untuk mengkonversi energi listrik menjadi energi gerak. Hal itu dikarenakan motor induksi memiliki beberapa keuntungan yang tidak dimiliki motor DC [1], akan tetapi motor induksi juga sering mengalami gangguan yang dapat dikategorikan ke dalam gangguan internal dan eksternal. Faktor internal disebabkan karena gangguan mekanik dan elektrik sedangkan faktor eksternal disebabkan oleh gangguan

mekanik, elektrik dan lingkungan [2]. Untuk mengurangi adanya gangguan tersebut perlu dilakukan deteksi adanya gangguan pada motor induksi melalui proses monitoring untuk menghindari kerugian yang lebih besar. Pada penelitian ini difokuskan pada gangguan eksternal elektrik yaitu *voltage unbalance*.

Tegangan tidak seimbang merupakan salah satu gangguan yang paling sering terjadi di sistem listrik. Penyebab utama ketidakseimbangan tegangan dalam sistem tenaga adalah distribusi yang tidak merata dari beban fase tunggal. Ada juga penyebab tambahan lainnya seperti bank transformator tidak seimbang, gangguan sistem tenaga, dan lain lain. Laporan The American National Standards Institute menunjukkan bahwa 98% dari pelanggan utilitas memiliki kurang dari 3% unbalance, sedangkan 66% memiliki kurang dari 1% [3].

Selain motor induksi, yang tidak kalah penting dalam dunia industri yaitu sistem pemantauan kondisi motor untuk peningkatan kinerja dan produktifitas motor. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu perangkat yang dapat menyelesaikan masalah tersebut, salah satunya adalah sistem yang disebut dengan sistem akuisisi data yang dapat memproses data secara cepat, *realtime* dan akurat sehingga data siap untuk di olah lebih lanjut. Sistem akuisisi data dapat didefinisikan sebagai suatu sistem untuk mengambil, mengumpulkan dan menyimpan data hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki jenis serta metode yang dipilih pada umumnya bertujuan untuk menyederhanakan setiap langkah yang dilaksanakan pada keseluruhan proses [4].

Pada penelitian ini dalam proses pengambilan data menggunakan sensor arus untuk membaca arus yang mengalir pada motor, untuk mengetahui adanya gangguan *voltage unbalance* pada motor induksi. Permasalahan ketidakseimbangan tegangan yang menyuplai motor induksi tiga fase adalah hal yang dapat terjadi saat pengoperasian motor induksi tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukannya deteksi dini melalui proses monitoring untuk menghindari kerugian yang lebih besar. Untuk mendeteksi adanya gangguan *voltage unbalance* pada motor induksi dibutuhkan parameter dan metode untuk identifikasi yang akurat. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah arus dan metode yang digunakan adalah *wavelet* dan *fast fourier transform* (FFT) dan *principle analysis component* (PCA). Dengan mengetahui identifikasi karakteristik Sinyal arus motor induksi tiga fase diharapkan mampu mengenali karakteristik motor ketika terjadi gangguan khususnya pada

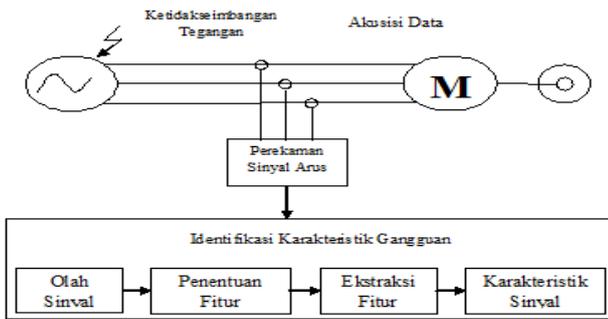
voltage unbalance sehingga dapat mengurangi kerusakan motor dan memperpanjang usia motor.

Dipilihnya parameter arus pada penelitian yaitu karena pengukuran arus lebih mudah dibandingkan mengukur tegangan. Pengukuran arus dalam industri dapat dengan menggunakan tang arus yang langsung di capitkan pada kabel untuk mengetahui aliran arus pada kabel tersebut dengan satu tangan. Sedangkan untuk mengukur tegangan lebih rumit yaitu diperlukan alat ukur voltmeter atau multimeter yang harus langsung terhubung pada sumber tegangan positif dan negatif dengan menggunakan 2 tangan. Untuk itu pada penelitian memilih mengidentifikasi karakteristik gangguan motor induksi 3 fase dengan Sinyal arus akibat ketidakseimbangan tegangan.

II. METODE PENELITIAN

a. Rancangan Penelitian

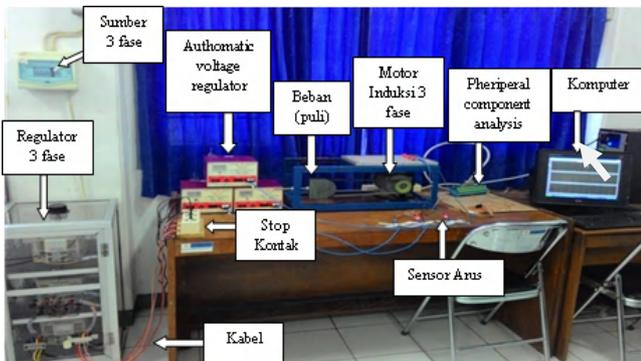
Pada penelitian ini terdapat dua tahap perancangan meliputi perancangan hardware merupakan alat dan software yang akan digunakan dalam proses pengambilan data. Berikut tampilan dari blok diagram penelitian secara keseluruhan pada Gambar 2.



Gambar 1. Blok diagram penelitian

b. Rancangan Alat Pengambilan Data

Pada penelitian ini akan dilakukan pengambilan data untuk dapat mengetahui karakteristik sinyal arus akibat ketidakseimbangan tegangan. Proses pengambilan data dilakukan guna mendapatkan data berupa gelombang sinyal arus. Adapun alat-alat yang digunakan dalam proses pengambilan data ini seperti motor induksi tiga fase, pheriper component analysis, authomatic voltage regulator, beban, kabel, sensor arus (ACS712), komputer.



Gambar 2. Rangkaian peralatan proses akuisisi data

Dalam proses pengambilan data regulator 3 fase digunakan sebagai pengatur tegangan 380 V tiap fasenya. AVR sebagai pengatur tegangan per fasenya, motor induksi sebagai objek penelitian, sensor arus sebagai pembaca arus yang mengalir ke motor, PCI sebagai perekam data dan komputer sebagai tampilan dari sinyal yang terekam dengan simulink matlab.

Membangkitkan gangguan pada penelitian ini menggunakan definisi NEMA (National Association Equipment Producers) yaitu ketidakseimbangan tegangan, dikenal sebagai line voltage unbalance rate (LVUR) [5], dengan rumus:

$$\%LVUR = \frac{\text{deviasi tegangan max dari rata-rata tegangan}}{\text{rata-rata tegangan}} \cdot 100$$

Variabel yang diteliti yaitu variabel ketidakseimbangan tegangan. ditunjukkan pada Tabel 1.

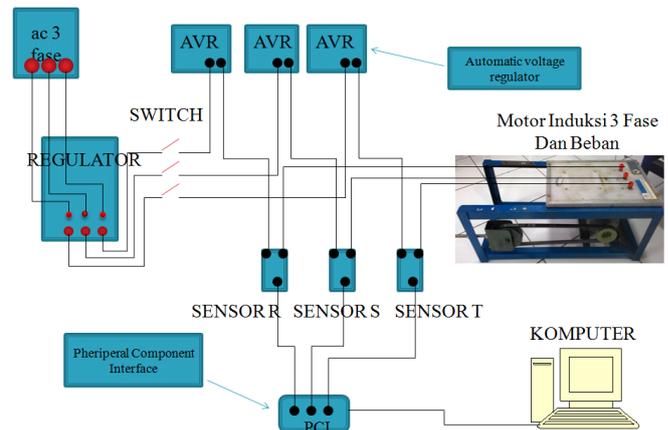
Tabel 1. Variabel ketidakseimbangan tegangan

Under	Over	Normal
3%	3%	-
6%	6%	-
9%	9%	-

Under voltage adalah ketidakseimbangan tegangan yang terjadi ketika ada salah satu tegangan di bawah rata-rata. Dan over voltage adalah kondisi ketidakseimbangan tegangan ketika ada salah satu tegangan di atas rata-rata.

c. Langkah Pengambilan Data

Pengambilan data pada tugas akhir ini, akan dilakukan pengambilan data dengan mengatur tegangan yang masuk ke motor dengan tegangan yang tidak seimbang yaitu dengan cara mengatur regulator satu fase sesuai data yang telah disiapkan. Skema pengambilan data yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengambilan data melalui media hubung singkat

Gambar 3 merupakan skema pengambilan data yang dilakukan pada motor induksi tiga fase. Langkah pertama Menyambungkan sumber tiga fase dengan regulator 3 fase untuk mengatur tegangan output 380V antar fasenya. kemudian menyambungkan regulator 3 fase dengan 3 stop kontak yang telah dibuat untuk sambungan per fasenya lalu menyambungkan switch dengan regulator satu fase, tegangan input dari regulator satu fase yang digunakan untuk mengatur tegangan tidak seimbang sesuai sampel data yang telah dibuat

dan kemudian masuk ke motor untuk diambil data ketidakseimbangan tegangan yang masuk pada motor. Merangkai kabel untuk sambungan input sensor. Ada 2 lubang input pada sensor yang satu masuk ke motor yang satunya masuk ke output regulator satu fase yang bermuatan listrik, untuk mengecek ada tidaknya aliran listrik pada output regulator satu fase menggunakan tespen. Menyambungkan kabel sambungan input kesatu sensor ke motor. Menyambungkan input sensor bisa bolak balik. Menyambungkan kabel sambungan input kedua sensor ke AVR, dengan menggunakan steker yang beraliran listrik atau yang mempunyai muatan +, untuk mengeceknya dengan multimeter. Dari sensor kemudian kabel di hubungkan terminal input motor 3 fase. Untuk gangguan ketidakseimbangan tegangan, motor di posisikan pada model delta. Berikut jumlah data per kondisi ditunjukkan pada tabel 2.

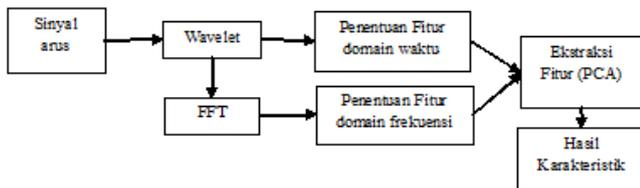
Tabel 2. Jumlah data per kondisi

Kondisi	Ambil data	Data original	Data Wavelet (Cd3s)	Data fitur
3% Under	30x	2000	750x30	19x30
6% Under	30x	2000	750x30	19x30
9% Under	30x	2000	750x30	19x30
3% Over	30x	2000	750x30	19x30
6% Over	30x	2000	750x30	19x30
9% Over	30x	2000	750x30	19x30
Normal	30x	2000	750x30	19x30
jumlah	210x	-	750x210	19x210

Menghubungkan sensor ke PCI dengan mengatur dan menyambungkan pin-pin sensor sesuai datasheet sensor dengan pin PCI, pin out sensor masuk ke pin input PCI yaitu pin 68 untuk analog input 0, pin 36 untuk analog input 1 dan pin 67 untuk analog input 2. Pin VCC sensor masuk ke pin VCC PCI yaitu pin 1. Pin ground sensor masuk ke pin ground PCI yaitu pin 30. Kemudian Mengkoneksikan PCI ke komputer. Mengatur tampilan simulink matlab untuk pengambilan data yang telah terhubung PCI.

#### d. Langkah Identifikasi Karakteristik

Metode yang digunakan dalam penelitian untuk mengidentifikasi gangguan ketidakseimbangan tegangan pada motor induksi tiga fase dengan 3 tahap, yaitu dekomposisi wavelet, penentuan fitur dan ekstraksi fitur. Skema identifikasi karakteristik ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Identifikasi karakteristik

Dalam identifikasi karakteristik digunakan gabungan analisa *wavelet*, *fast fourier transform*, dan *principle component analysis*.

#### 1) Transformasi wavelet dan FFT

Untuk identifikasi karakteristik dengan menggunakan wavelet dan FFT. Data yang di olah yang telah melewati proses dekomposisi tersebut dibutuhkan untuk proses ekstraksi fitur. Wavelet dan FFT digunakan untuk menentukan fitur berdasarkan domain waktu dan domain frekuensi.

#### 2) Penentuan Fitur

Perhitungan fitur Setelah melewati proses di wavelet dan FFT, parameter-parameter fitur dihitung berdasarkan domain waktu dan domain frekuensi. Perhitungan fitur dilakukan berdasarkan operasi statistika. Terdapat 19 fitur untuk setiap kondisi gangguan. Terdapat 6 Kondisi gangguan serta 1 kondisi normal dan setiap kondisi memiliki 30 ulangan, sehingga total terdapat 210 data yang dihitung. Fitur yang dipakai meliputi *mean*, *median*, *varian*, *RMS*, *Total Harmonic Distortion (THD)*, *Crest factor*, *form factor*, *peak*, *energi*.

#### 3) Ekstraksi Fitur dengan Principle Component Analysis

Ekstraksi fitur menggunakan PCA bertujuan untuk mengurangi dimensi dari himpunan data dan tetap mempertahankan karakteristik dari himpunan data tersebut dengan menjaga beberapa *principle component* yang tinggi prioritasnya dan membuang yang rendah prioritasnya. Hasil ekstraksi fitur yang dipakai dapat diketahui dari nilai eigenvalue lebih dari nol sebagai fitur yang dipakai untuk mewakili hasil karakteristik sinyal arus, dan hasil eigenvalue yang mendekati nol merupakan hasil fitur yang dibuang.

Proses ekstraksi fitur menggunakan PCA sesuai dengan langkah langkah yang dijelaskan dalam bab 2. Berdasarkan hasil fitur didapatkan 19 baris fitur dan 210 kolom data. Prosedur PCA sebagai berikut:

1. Penyajian sebuah himpunan yang terdiri dari vektor input berjumlah 19 baris dan 210 kolom, maka:

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1,210} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2,210} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{19,1} & x_{m2} & \dots & x_{19,210} \end{bmatrix}$$

2. Mengurangi nilai untuk setiap sel  $X_{ij}$  dengan nilai rata-rata (mean) keseluruhan  $\mu_j$

$$u_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}$$

$$\Phi_{ij} = x_{ij} - \mu_j$$

Dalam Matrik dituliskan sebagai berikut:

$$\Phi_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} - \mu_1 & x_{12} - \mu_2 & \dots & x_{1,210} - \mu_{210} \\ x_{21} - \mu_1 & x_{22} - \mu_2 & \dots & x_{2,210} - \mu_{210} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{19,1} - \mu_1 & x_{m2} - \mu_2 & \dots & x_{19,210} - \mu_{210} \end{bmatrix}$$

3. Menghitung matrix covariance C

$$C = (x_{ij} - \mu_j) (x_{ij} - \mu_j)^T$$

Secara matrix dituliskan sebagai berikut

$$C = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \dots & \theta_{1,210} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \dots & \theta_{2,210} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{19,1} & \theta_{19,2} & \dots & \theta_{19,210} \end{bmatrix}^*$$

$$\begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \dots & \theta_{1,210} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \dots & \theta_{2,210} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{19,1} & \theta_{19,2} & \dots & \theta_{19,210} \end{bmatrix}^T$$

4. Mendapatkan nilai eigenvalue  $\lambda$  dan eigenvector  $u$  dari matrix covariance C

$$\lambda_i u_i = C u_i$$

$\lambda_i$  adalah eigenvalue dan  $u_i$  adalah eigenvector dari matriks C. Perhitungan eigenvalue dan eigenvector dihitung dengan matlab dengan perintah sebagai berikut [eigenvalue, eigenvektor] = eig(C)

5. Berdasarkan pada ekstraksi  $u_i$  komponen dari  $s_i$  adalah transformasi orthogonal dari  $x_t$

$$s_t(i) = u_i^T x_t$$

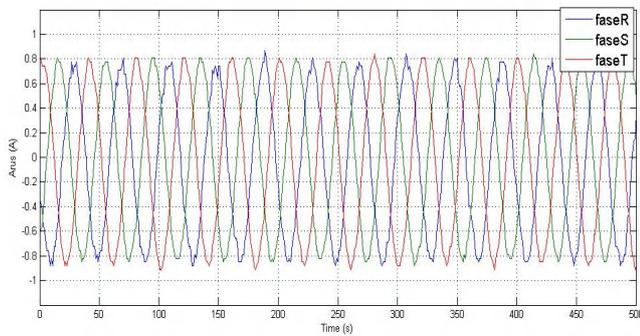
$s_t(i)$  disebut dengan *principle component*.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, akan dijelaskan hasil dari percobaan simulasi gangguan ketidakseimbangan tegangan untuk mengetahui karakteristik gangguan pada motor induksi tiga fase.

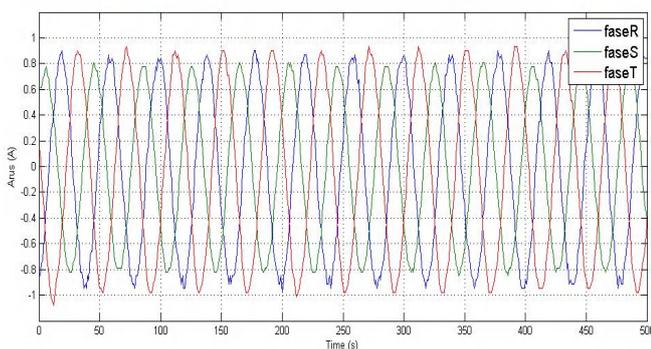
#### a. Bentuk Sinyal normal dan sinyal gangguan

Sebelum masuk ke pengolahan sinyal berikut contoh hasil sinyal yang akan dianalisis berupa sinyal Normal dan sinyal gangguan *unbalance voltage* (UV) ditunjukkan pada Gambar 5 sampai 11.

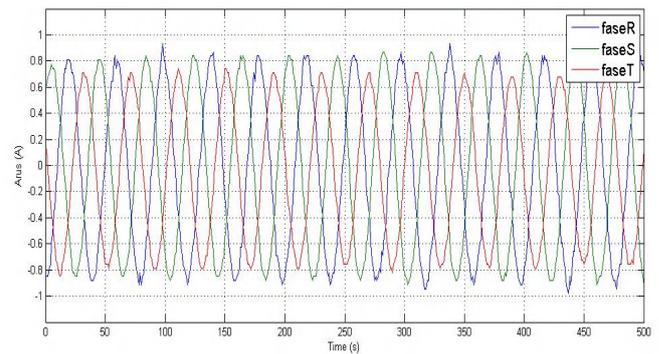


Gambar 5. Sinyal kondisi normal

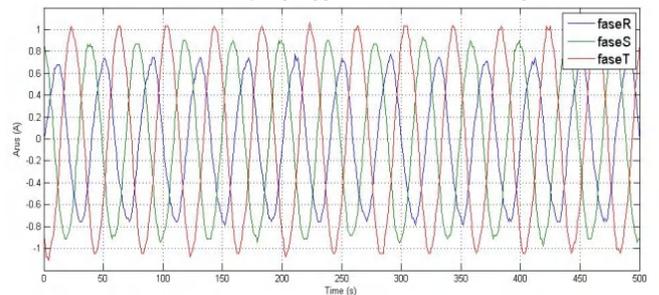
Berdasarkan pada Gambar 5 terlihat bahwa amplitudo pada fase R, S, T hampir sama. Walaupun terlihat sedikit noise pada fase R tetapi tinggi setiap peak sinyal sama yang menunjukkan bahwa tegangan seimbang.



Gambar 6. Sinyal gangguan UV 3% over voltage

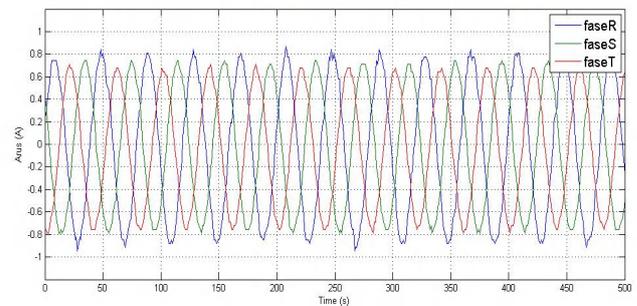


Gambar 7. Sinyal gangguan UV 6% over voltage

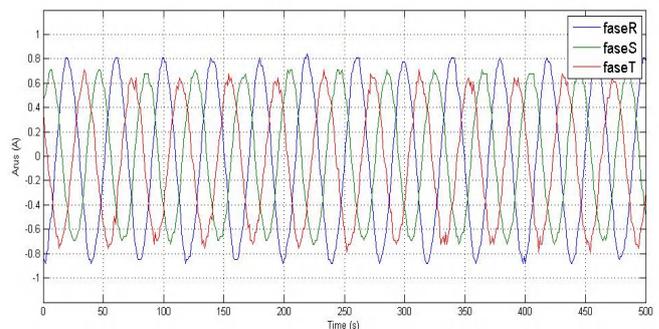


Gambar 8. Sinyal gangguan UV 9% over voltage

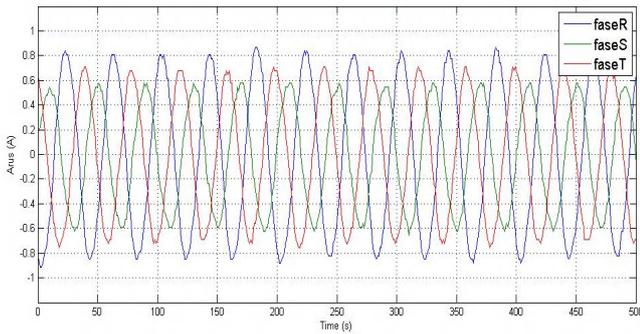
Berdasarkan pada Gambar 6, 7 dan 8 terlihat bahwa amplitudo pada fase R, S, T tidak sama. Semakin kecil presentase ketidakseimbangan tegangan maka presentase ketidakseimbangan arus yang dihasilkan akan lebih besar. Begitu pula sebaliknya. Hal ini disebabkan karena terjadinya perputaran yang berlawanan dengan kondisi tegangan seimbang, yang menghasilkan celah udara pada perputaran fluksi yang berlawanan dengan rotasi rotor sehingga cenderung menghasilkan arus yang tinggi.



Gambar 9. Sinyal gangguan UV 3% under voltage



Gambar 10. Sinyal gangguan UV 6% under voltage



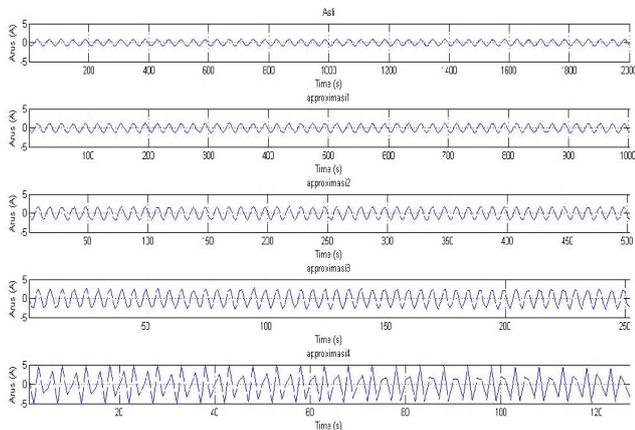
Gambar 11. Sinyal gangguan UV 9% under voltage

Berdasarkan pada Gambar 9, 10 dan 11 terlihat bahwa amplitudo pada fase R, S, T tidak sama. Semakin kecil presentase ketidakseimbangan tegangan maka presentase ketidakseimbangan arus yang dihasilkan akan lebih besar. Begitu pula sebaliknya. Hal ini disebabkan karena terjadinya perputaran yang berlawanan dengan kondisi tegangan seimbang, yang menghasilkan celah udara pada perputaran fluksi yang berlawanan dengan rotasi rotor sehingga cenderung menghasilkan arus yang tinggi.

II. Pengolahan Sinyal

• Analisis Transformasi Wavelet

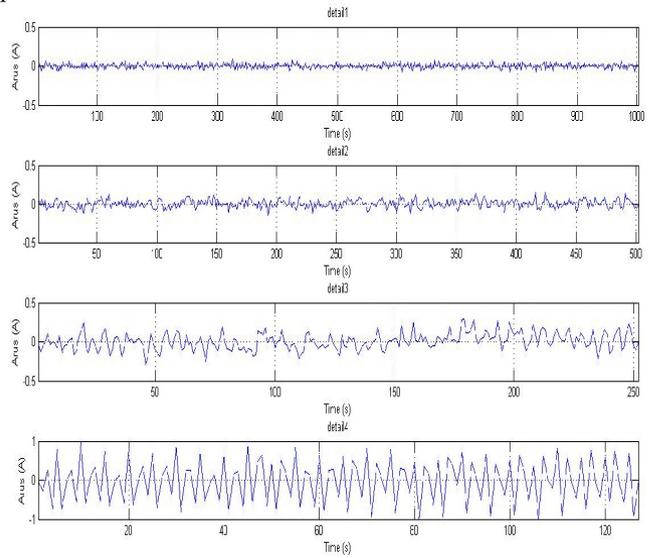
Tahap awal pengolahan data yaitu menggunakan wavelet yang berfungsi untuk memisahkan sinyal asli dengan sinyal noise dan sebagai penentuan fitur domain waktu. dan FFT untuk penentuan fitur domain frekuensi. Berikut salah satu sinyal untuk sampel pembuktian penggunaan level transformasi wavelet yaitu pada sinyal fase R kondisi gangguan 3% Over voltage. hasil sinyal aproksimasi ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Sinyal aproksimasi transformasi wavelet

Dari Gambar 12 di ketahui pengolahan sinyal menggunakan transformasi wavelet sampai 4 level. Dengan transformasi wavelet diharapkan sinyal menjadi lebih jelas dengan ukuran yang lebih kecil. Berdasarkan Gambar 12 terlihat dengan dekomposisi wavelet sinyal aproksimasi pada level 3 ukuran sinyal menjadi kecil dan sinyal masih dapat dikenali dengan baik. Sedangkan untuk dekomposisi pada level 4 bentuk sinyal telah berubah jauh dari sinyal asli sehingga sinyal pada level 4 tidak cukup baik untuk dikenali. Sehingga pada proses transformasi wavelet dilakukan pada

level 3. Dan berikut tampilan dari sinyal detail ditunjukkan pada Gambar 13

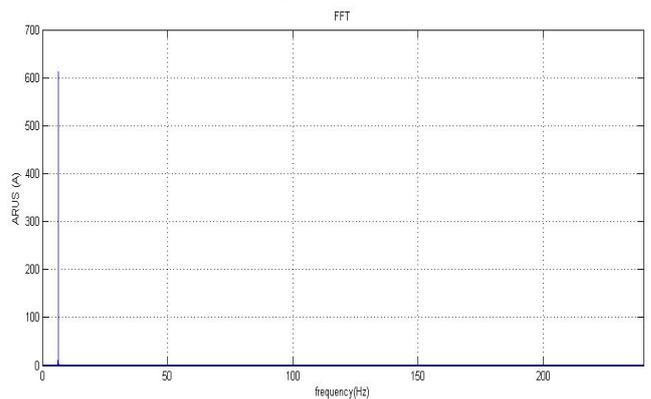


Gambar 13 Sinyal detail transformasi wavelet

Dari Gambar 13 di ketahui pengolahan sinyal menggunakan transformasi wavelet sinyal aproksimasi menggunakan level 3. Sinyal aproksimasi digunakan sebagai fungsi skala dan sinyal detail sebagai fungsi wavelet. Dengan melihat sinyal aproksimasi sebagai fungsi skala menggunakan level 3, maka sinyal detail sebagai fungsi wavelet juga menggunakan sinyal detail level 3 untuk dianalisis.

• Analisis Transformasi Fourier

Penggunaan FFT pada analisa data adalah untuk mempermudah proses analisis. Hasil sinyal asli yang langsung di ditransformasi fourier seperti ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Sinyal hasil pengukuran pengolahan FFT

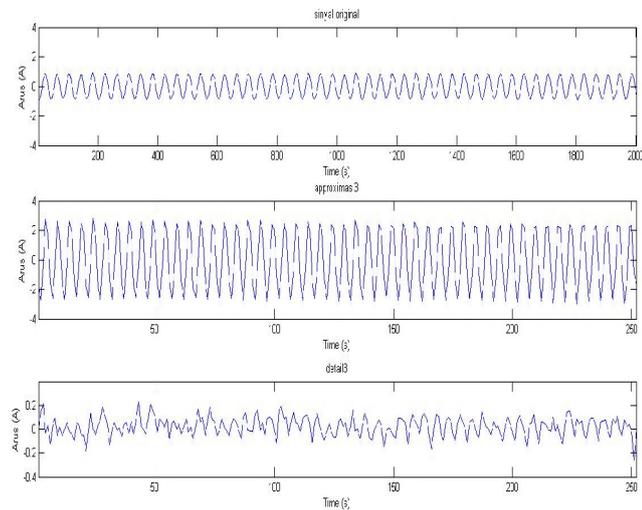
Dari Gambar 14 diketahui bentuk sinyal gangguan ketidakseimbangan tegangan 3 fase pada kondisi 3% Over voltage. Untuk pengolahan sinyal gangguan ketidakseimbangan tegangan tidak bisa langsung dengan menggunakan transformasi fourier, terlihat bahwa Gambar sinyal transformasi fourier skalanya masih terlalu besar dan sulit untuk dianalisis. Dari itu dilakukan dekomposisi wavelet

untuk mendapatkan Gambaran sinyal yang sesuai dengan detail sinyal.

III. Hasil dan Pembahasan

• Hasil Pengolahan Wavelet

Berikut salah satu tampilan sinyal approxikasi 3 dan sinyal detail 3 per kondisi gangguan ditunjukkan pada Gambar 15.

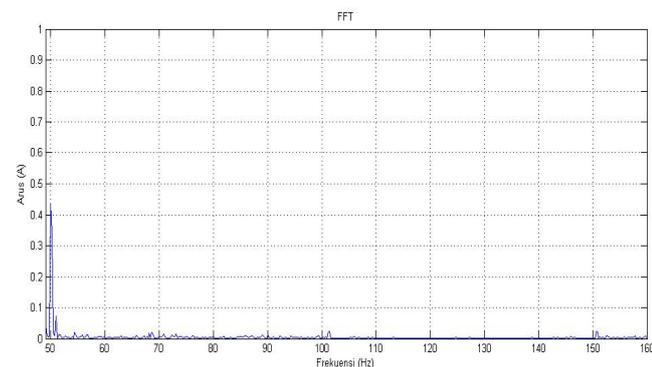


Gambar 15. Sinyal hasil pengukuran, Approxikasi 3, Detail 3.

Dari Gambar 15 dapat diketahui bahwa sinyal pengukuran, sinyal approxikasi, dan sinyal detail 3. Untuk analisis data yaitu menggunakan transformasi fourier untuk mengubah data dari domain waktu ke domain frekuensi untuk mempermudah proses analisis, dan untuk memperoleh informasi yang lebih jelas yang terkandung dalam data.

• Hasil Pengolahan Fast Fourier Transform (FFT)

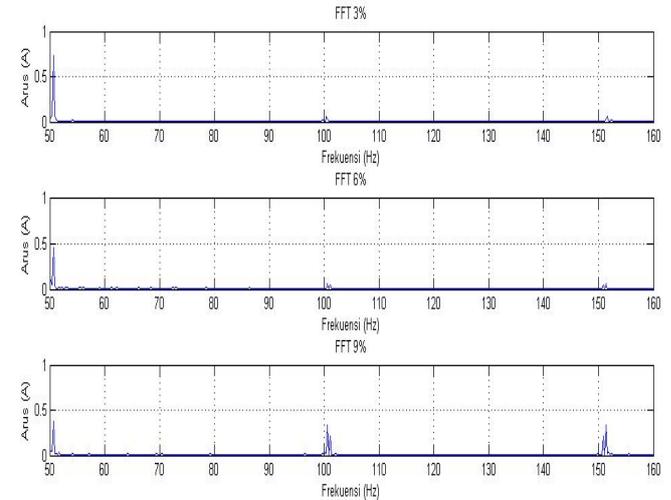
Setelah pengolahan wavelet selanjutnya diproses dengan FFT untuk mengetahui bentuk detail domain frekuensinya. Berikut hasil sinyal detail 3 yang sudah di transformasikan ke data FFT per kondisi ditunjukkan pada Gambar 16, 17 dan 18.



Gambar 16 sinyal FFT setelah diwaveletkan kondisi normal

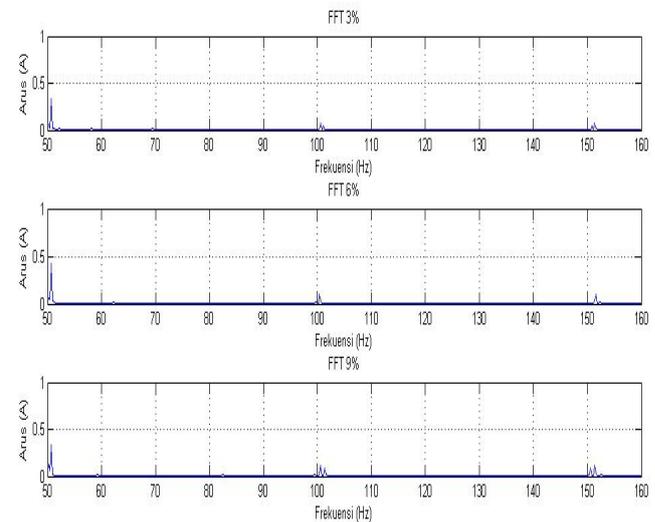
Berdasarkan dari Gambar 16 diketahui bahwa sinyal transformasi fourier pada kondisi normal sinyal harmonisa fundamental berada pada titik 0.41 yaitu rendah. Meskipun sinyal yang diolah pada kondisi normal, namun terlihat adanya harmonisa. Dari harmonisa FFT sinyal normal yang dapat di

analisa yaitu sinyal fundamental sampai hamonisa ke-2, harmonisa ke-3 terlalu kecil untuk dibaca. Harmonisa diakibatkan dari peralatan bantu pengambilan data.



Gambar 17 Sinyal FFT setelah diwaveletkan UV 3%, 6%, 9% over voltage

Berdasarkan dari Gambar 17 diketahui bahwa sinyal transformasi fourier berbeda menurut besar gangguannya. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada bentuk sinyal yang dihasilkan. Pada kondisi 3% hasil sinyal harmonisa rendah. Pada kondisi 6% hasil sinyal harmonisa sedang, dan pada kondisi 9% tinggi. Dan untuk harmonisa ke 2, ke 3 pada kondisi gangguan *over voltage* masih dapat terlihat dibandingkan pada kondisi normal.



Gambar 18 Sinyal FFT setelah diwaveletkan UV 3%, 6%, 9% under voltage

Berdasarkan dari Gambar 18 diketahui bahwa sinyal pada kondisi 3% hasil sinyal harmonisa rendah. Pada kondisi 6% hasil sinyal harmonisa sedang, dan pada kondisi 9% bentuk sinyal harmonisa tinggi. Dan untuk harmonisa ke 2, ke 3 pada kondisi gangguan *under voltage* masih dapat terlihat dibandingkan pada kondisi normal.

Dari semua Gambar olah FFT diambil 3 harmonisa karena digunakan untuk menghitung fitur *Total harmonic distortion* (THD). di mana rumus dari THD yaitu arus sinyal total harmonik dibagi dengan arus sinyal fundamental. sinyal pertama digunakan sebagai sinyal fundamental dan sinyal kedua dan ketiga sebagai sinyal harmonisa, Semua data dari pengolahan wavelet dan FFT kemudian di ekstraksi.

• *Penentuan Fitur*

Penentuan fitur berdasarkan pada sifat yang terikat dalam sifat transformasi wavelet dan transformasi fourier. Fitur yang terikat pada transformasi wavelet adalah energy dan entropy sedangkan fitur yang terikat pada transformasi fourier adalah *crest factor, form factor, THD, peak*. Berikut tampilan fitur yang digunakan pada penelitian.

Tabel 2 fitur pada penelitian

No	Fitur Domain Waktu	No	Fitur Domain Frekuensi
1	Mean	13	Rms
2	Median	14	Crest factor
3	Variance	15	Form factor
4	Rms	16	THD
5	Standart deviasi	17	Peak
6	Entropy Shannon	18	Mean
7	Entropy log energi	19	variance
8	Entropy threshold		
9	Entropy sure		
10	Entropy norm		
11	Energi aproksimasi		
12	Energi detail		

Berikut contoh tampilan dari fitur beserta nilai fitur pada penelitian per kondisi normal dan kondisi gangguan ditunjukkan pada Tabel

Tabel 3 Nilai fitur per Kondisi

No	Fitur	Kondisi						
		Normal	9% Over	6% Over	3% Over	9% Under	6% Under	3% Under
1	Mean	0.0026	0.0021	0.0037	0.0042	0.0016	-0.0069	0.0133
2	Median	0.0029	0.0007	0.0079	0.0101	0.0022	-0.0057	0.0201
3	Varian	0.0122	0.0084	0.0132	0.0112	0.0066	0.0079	0.0084
4	Stdev	0.1104	0.0915	0.1148	0.1060	0.0815	0.0886	0.0919
5	Rms	0.1104	0.0915	0.1148	0.1060	0.0814	0.0888	0.0928
6	E App	99.5323	99.6642	99.5699	99.6652	99.6776	99.5992	99.6082
7	EDet	0.3293	0.2212	0.2954	0.2502	0.1980	0.2541	0.2942
8	Entropy	8.3748	13.2885	13.3914	12.2501	10.5065	9.6242	12.7716
9	Entropy1	-2509.51	-2476.11	-2627.62	-2579.50	-2492.71	-2295.07	-2854.29
10	Entropy2	14.0000	20.0000	20.0000	9.0000	10.0000	9.0000	12.0000
11	Entropy3	-743.82	-746.69	-743.07	-744.54	-748.00	-747.05	-746.51
12	Entropy4	42.7162	43.6022	44.6323	43.1354	37.0338	39.6785	38.8808
13	Peak	0.4380	0.7411	0.4517	0.3763	0.4985	0.4284	0.3294
14	Crest	3.9679	8.0998	3.9350	3.5509	6.1217	4.8231	3.5488
15	THD	3.9803	8.1296	4.0151	5.7700	6.1280	5.1199	3.9739
16	Form	12.3193	14.8621	11.8475	12.8335	16.7004	15.3110	14.6517
17	Meanf	0.0090	0.0062	0.0097	0.0083	0.0049	0.0058	0.0063
18	Rmsf	0.1104	0.0915	0.1148	0.1060	0.0814	0.0888	0.0928
19	Varianf	0.0008	0.0013	0.0006	0.0007	0.0005	0.0005	0.0004

• *Hasil Ekstraksi Fitur Sinyal*

Setelah proses pengolahan sinyal dan penentuan fitur selesai, tahap selanjutnya yaitu ekstraksi fitur. Fitur pada penelitian berjumlah 19 fitur, fitur-fitur tersebut diekstraksi menggunakan

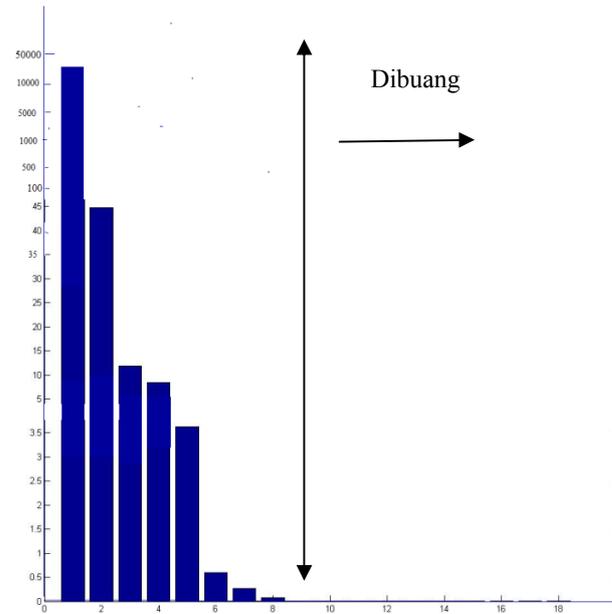
algoritma PCA. Perhitungan parameter fitur dilakukan berdasarkan operasi statistik seperti ditunjukkan pada bab 3. Terdapat 19 fitur untuk setiap kondisi. ada 6 kondisi gangguan serta 1 kondisi normal dan setiap kondisi memiliki 30 ulangan, sehingga total data terdapat 210 yang dihitung.

Berdasarkan *eigenvalue* terbesar dipilih 8 dari 19 fitur sebagai *principal components* untuk diidentifikasi. Nilai Eigenvalue ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai Eigenvalue

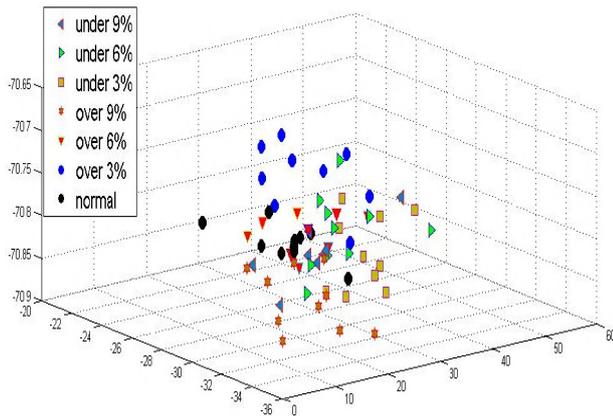
No	Eigenvalue	No	Eigenvalue
1	49106.7964	11	5.59E-05
2	44.7502055	12	3.21E-05
3	11.9161238	13	6.64E-06
4	8.47781261	14	3.20E-07
5	3.62522383	15	2.31E-08
6	0.59000679	16	5.49E-09
7	0.26094148	17	1.58E-10
8	0.06951549	18	1.32E-13
9	0.00250069	19	-6.52E-12
10	0.00010238		

Hasil ekstraksi fitur berdasarkan dari nilai eigenvalue terbesar disajikan pada Gambar 19.



Gambar 19 Ekstraksi Fitur Eigenvalue terbesar

Gambar 19 menunjukkan nilai 19 *eigenvalue* dari parameter fitur-fitur tersebut. Pemilihan berdasarkan pada nilai terbesar yang lebih besar dari nol. Nilai lain yang mendekati nol atau di bawah nol dibuang karena terlalu kecil. Berikut tampilan dari diagram pencar ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Diagram Pencar 3 Komponen Terbaik

Gambar 20 menunjukkan diagram pencar dari 3 data fitur terbaik. Data fitur hasil ekstraksi pada Gambar di atas dikelompokkan berdasarkan tipe gangguannya yaitu 9%, 6%, 3% *over voltage*, 9%, 6%, 3% *under voltage* dan normal. Dapat diketahui pada diagram pencar di atas terlihat semua kondisi bergabung menjadi satu tetapi masih terlihat sedikit terkumpul berdasarkan tipe gangguannya. Penggunaan scatter pada penelitian yaitu mempermudah pada penelitian selanjutnya untuk klasifikasi karakteristik gangguan akibat ketidakseimbangan tegangan.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

- Dari percobaan dan pengolahan data ketidakseimbangan tegangan dapat disimpulkan sebagai berikut :
  1. Sistem akuisisi data arus listrik motor induksi tiga fase gangguan ketidakseimbangan tegangan melalui 3 tahap yaitu, pengolahan data menggunakan *transformasi wavelet* dan *fast fourier transform* (FFT), penentuan fitur menggunakan operasi statistik dengan data domain waktu dan domain frekuensi, ekstraksi fitur menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA).
  2. Gangguan ketidakseimbangan tegangan dengan presentase kecil menghasilkan ketidakseimbangan arus dengan presentase yang lebih besar. Untuk karakteristik harmonisa FFT didapatkan sinyal normal dikenali sampai harmonisa ke-2 dan sinyal gangguan dikenali sampai sinyal harmonisa ke-3. Dan untuk karakteristik gangguan ketidakseimbangan tegangan dapat dianalisa dengan 8 fitur yang cocok untuk mewakili data gangguan ketidakseimbangan tegangan dari 19 fitur yang telah dibuat. Sedangkan 11 fitur yang mendekati nol dan di bawah nol dibuang karena terlalu kecil untuk dijadikan karakteristik.
- Saran yang penulis berikan untuk peningkatan kualitas penelitian selanjutnya sebagai berikut :
  1. Untuk penggunaan kabel dalam proses akuisisi data dipastikan terhubung dengan baik pada semua peralatan penelitian agar diperoleh sinyal yang sesuai.
  2. Diperlukan suatu program untuk mengetahui urutan fitur PCA yang diterapkan dan yang terbuang untuk mewakili karakteristik data gangguan ketidakseimbangan tegangan.

3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat mencoba fitur-fitur yang lain agar lebih banyak lagi fitur yang digunakan sebagai identifikasi gangguan ketidakseimbangan tegangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Pradigta S.R., "Sistem Pengaman Motor Iinduksi 3 Phasa terhadap Ggangguan Unbalance Voltage dan Overload," *PENS-ITS SURABAYA*.
- [2] P. S. Bhowmik, S. Pradhan, and M. Prakash, "Fault Diagnostic and Monitoring Methods of Induction Motor: A Review," vol. vol 1 no 1, May 2013.
- [3] E. C. Quispe, M. L. Fernandez, A. M. . Mendes, A. J. M. Cardoso, and J. A. Palacios, "Experimental Study of the Effect of Positive Sequence Voltage on the Derating of Induction," 2011.
- [4] N. Nagara and P. I. Yazid, "Perangkat Lunak Sistem Akuisisi Data Menggunakan Delphi," vol. 4 no 1, 2012.
- [5] P. Pillay and M. Manyage, "Devinition Of Voltage Unbalance," May 2001.