

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemantauan kondisi rotor generator berbasis getaran dengan menggunakan pendekatan jaringan saraf tiruan digunakan sebagai salah satu metode prediktif maintenance yang digunakan untuk memantau pergerakan kegagalan dan mendeteksi sedini mungkin bentuk penyimpangan atau ketidaknormalan dari karakteristik parameter pemantauan rotor generator dengan menggunakan informasi ekstraksi keunikan (*feature*) relasi data-data parameter pemantauan dengan getaran sebagai indikasi utama yang ditinjau.

A. PENENTUAN PARAMETER

Penentuan parameter yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah beberapa parameter yang berkaitan dengan pemantauan kondisi dasar rotor generator. Parameter data yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut seperti yang tertera pada table 1

Table 1 Parameter data yang digunakan dalam Penelitian. Atas kebaikan PLTU Tarahan, Data Log Sheet Pemantauan dan vibration unit Converter yang digunakan pada Satuan dan keterangan.

No	Nama Parameter	Satuan	Keterangan
1	Tegangan Eksitasi	Volt	≥ 435 V
2	Arus Eksitasi	Amper	≥ 938 A
3	Kecepatan Putar	Rpm	3000 rpm
4	Daya Real	MW	≥ 100.4 MW
5	Daya Reaktif	M var	≥ 75.2998 M var
6	Frekuensi Generator	Hz	50 Hz
7	Faktor Daya	%	$-0.5 < X < 0.5$
8	Arus Generator (Phasa R)	Amper	≥ 6587 A
9	Arus Generator (Phasa S)	Amper	≥ 6587 A
10	Arus Generator (Phasa T)	Amper	≥ 6587 A
11	Tegangan Generator (W-U)	Volt	≥ 11 kV
12	Tegangan Generator (U-V)	Volt	≥ 11 kV
13	Tegangan Generator (V-W)	Volt	≥ 11 kV
14	Pemuaian Rotor	mm	16 mm
15	Generator No.1 Bearing Shaft vibration (X)	mic(P-P)	128 mic(P-P)
16	Generator No.1 Bearing Shaft vibration (Y)	mic(P-P)	128 mic(P-P)
17	Generator No.2 Bearing Shaft vibration (X)	mic(P-P)	128 mic(P-P)
18	Generator No.2 Bearing Shaft vibration (Y)	mic(P-P)	128 mic(P-P)

B. STANDARISASI DATA

Standarisasi data digunakan untuk memastikan penyeragaman bobot¹ vector data masukan dari data parameter pemantauan seperti yang tertera pada tabel 1, yang mana data tersebut memiliki penyebaran bobot data yang berbeda (seperti yang dideskripsikan pada tabel 2, karena setiap parameter memiliki standar nilai pengukuran yang berbeda. Sedangkan system per unit (pu) digunakan untuk menyeragamkan satuan ukur parameter data masukan.

Konversi satuan ukur data parameter masukan menggunakan system per unit dilakukan sebagai berikut:

$$x_{pu} = x / pu \text{ Base} \quad (22)$$

¹ Nilai yang menunjukkan seberapa besar nilai koneksi antar neuron atau parameter

dimana

x_{pu} = nilai parameter dalam satuan perunit

x = nilai parameter dalam satuan ukur sesungguhnya

$pu\ Base$ = nilai maksimum parameter yang dijadikan basis

Penyebaran bobot vector data masukan dapat ditinjau dari standar nilai penyimpangan (*standard deviation*) yang menyatakan sebagai pengukuran keragaman dari suatu populasi dari kesatuan data. Standar nilai penyimpangan mengindikasikan tingkatan kedekatan data dengan nilai rata-rata kesatuan data, semakin kecil standar nilai penyimpangan maka data dijaga untuk dekat dengan nilai rata-rata, dan sebaliknya semakin besar standar nilai penyimpangan mengindikasikan data yang dijaga memiliki jarak yang semakin jauh dengan nilai rata-rata kesatuan data

Standar nilai penyimpangan dapat dituliskan dalam persamaan berikut

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} \quad (23)$$

σ = standar nilai penyimpangan

N = Jumlah banyaknya data

x_i = data pada urutan ke i

μ = rata - rata

Didasari oleh standar nilai penyimpangan yang menjadi suatu titik tinjau seperti persamaan 23 diatas maka standarisasi data didapatkan dengan mengikuti persamaan 24 sebagai berikut:

$$x^i = \frac{(x-\mu)}{\sigma} \quad (24)$$

Dimana

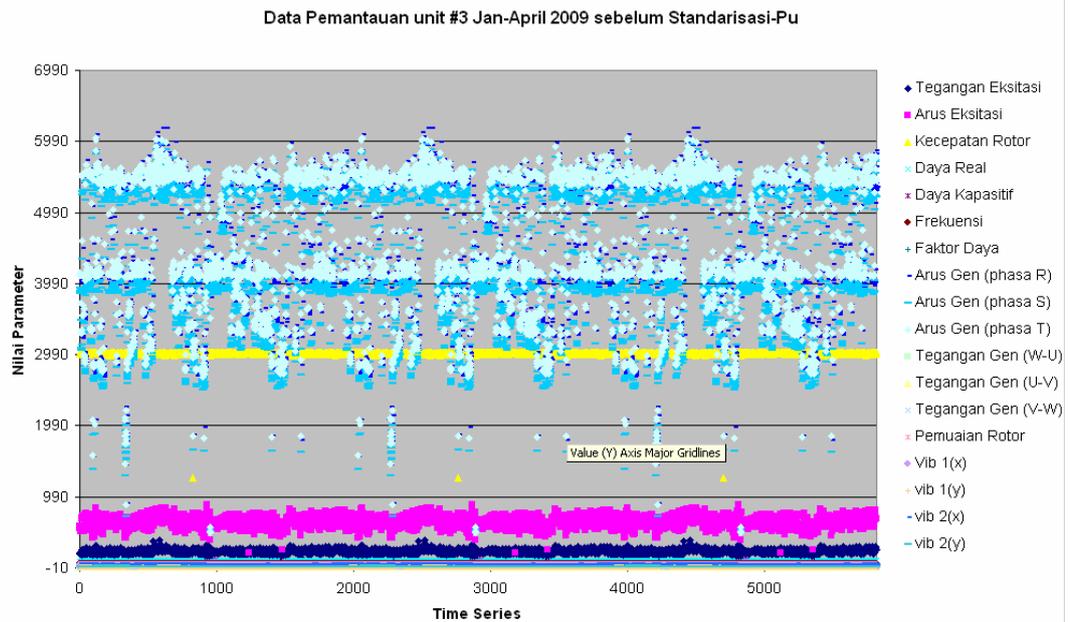
x^i = nilai setelah standarisasi

x = nilai sebelum standarisasi

μ = nilai rata rata

σ = standar nilai penyimpangan

Gambar 8 dan 9 mengilustrasikan penyebaran bobot vector data masukan sebelum dan sesudah distandarisasi yang dapat ditinjau dari standar nilai penyimpangan (dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3).



Gambar 8 Penyebaran bobot data pemantauan unit #3 Jan-April 2009 sebelum standarisasi (atas kebaikan PLTU Tarahan)

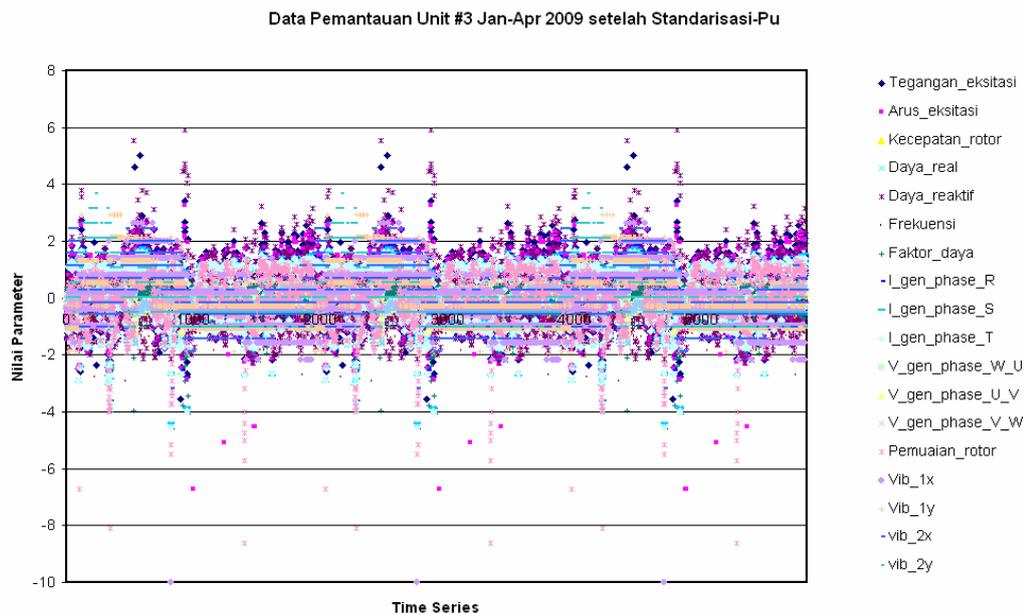
Pada gambar 8 yang menunjukkan bahwa sesungguhnya setiap parameter pemantauan memiliki standar nilai rata-rata dan standar nilai penyimpangan berbeda berdasarkan standar pengukuran tiap parameter yang memberikan bobot penyebaran data vector masukan yang beragam seperti pada gambar 8. Sebagai ilustrasi adalah penyebaran parameter arus eksitasi (ditunjukkan dengan warna merah) memiliki penyebaran yang berbeda dengan penyebaran parameter kecepatan (ditunjukkan dengan warna kuning). Sehingga dengan data yang memiliki bobot vector masukan yang beragam atau memiliki standar penyimpangan yang beragam ini akan menyebabkan sangat sulit untuk mencapai nilai yang konvergen dalam sistem pembelajaran som-kohonen yang sangat mempengaruhi tingkat kesalahan pembelajaran.

Table 2 Diskripsi statistik parameter pemantauan sebelum distandarisasi

No	Parameter	Avg	SD	Var	Min	Max
1	Tegangan Eksitasi	216.3074	32.02655	1025.7	102.7	377.3
2	Arus Eksitasi	618.2039	81.03349	6566.426	74.8	882.8
3	Kecepatan Rotor	3007.968	40.08025	1606.426	1251.18	3027.39
4	Daya Real	79.30321	18.05069	325.8274	0.03	101.83
5	Daya Kapasitif	20.10942	9.07124	82.2874	-0.62	73.73
6	Frekuensi	50.05085	0.146603	0.021492	42.49	50.38
7	Faktor Daya	0.961195	0.084267	0.007101	-1	1
8	Arus Gen (phasa R)	4385.632	956.1533	914229.2	-1.51	6171.88
9	Arus Gen (phasa S)	4227.436	959.8606	921332.4	-4.01	5950.32
10	Arus Gen (phasa T)	4431.968	971.3428	943506.8	6.02	6041.41
11	Tegangan Gen (W-U)	10.9018	0.252566	0.06379	-0.01	11.03
12	Tegangan Gen (U-V)	10.90735	0.357873	0.128073	0	11.04
13	Tegangan Gen (V-W)	10.95228	0.259988	0.067594	-0.01	11.07
14	Pemuaian Rotor	14.73375	0.568434	0.323117	6.66	15.83
15	Vib 1(x)	37.63693	1.648225	2.716644	21	42
16	vib 1(y)	10.33213	1.251426	1.566068	8	14
17	vib 2(x)	41.35121	2.32544	5.407669	34	47
18	vib 2(y)	7.947396	1.915687	3.669855	6	15

Dari tabel 2, tampak standar nilai penyimpangan (SD) yang beragam dari parameter pemantauan sebelum mengalami standarisasi seperti pada gambar 8.

Sesungguhnya standar nilai penyimpangan yang beragam dari parameter-parameter pemantauan didapat karena setiap parameter pemantauan memiliki standar nilai ukur yang berbeda dan keberagaman ini bukanlah bentuk dari penyimpangan atau pergerakan kegagalan atau suatu kesalahan selama masih berada pada range pengukuran.



Gambar 9 Penyebaran bobot data pemantauan unit #3 Jan-April 2009 setelah standarisasi (atas kebaikan PLTU Tarahan)

Gambar 9 memberikan ilustrasi penyebaran bobot vector data masukan dari parameter pemantauan yang telah distandarisasi-pu memiliki pola penyebaran yang memusat atau memiliki nilai rata rata dan nilai standar penyimpangan yang tidak terlalu jauh. Sehingga penyebaran bobot data masukan dari gambar 9 miliki standar yang dapat diterima oleh semua parameter pemantauan, yang dapat mencapai nilai yang konvergen ketika data ini mengalami pembelajaran dengan menggunakan som-kohonen.

Secara statistika, ditinjau dari nilai standar penyimpangan (SD) seperti pada tabel 3 tampak bahwa nilai standar penyimpangan parameter-parameter pemantauan yang didapat setelah distandarisasi tidaklah begitu jauh berbeda.

Table 3 Diskripsi statistika parameter pemantauan sesudah distandarisasi-pu

NO	Parameter	Avg	SD	Var	Min	Max
1	Tegangan_eksitasi	0.4972578	0.0736135	0.0054189	0.2361	0.8674
2	Arus_eksitasi	0.6590643	0.0863984	0.0074647	0.0797	0.9412
3	Kecepatan_rotor	1.0026553	0.0131062	1.72E-04	0.4171	1.0091
4	Daya_real	0.7898658	0.1797968	0.0323269	3.00E-04	1.0143
5	Daya_reaktif	0.2670544	0.1204703	0.0145131	-0.0082	0.9791
6	Frekuensi	1.000998	0.0043269	1.87E-05	0.8499	1.0075
7	Faktor_daya	0.9607475	0.0843002	0.0071065	-0.999	1
8	I_gen_phase_R	0.6658025	0.1451514	0.0210689	-2.00E-04	0.937
9	I_gen_phase_S	0.6417897	0.1457102	0.0212315	-6.00E-04	0.9033
10	I_gen_phase_T	0.6728345	0.1474569	0.0217435	9.00E-04	0.9172
11	V_gen_phase_W_U	0.9910212	0.0230747	5.32E-04	-5.00E-04	1.0025
12	V_gen_phase_U_V	0.9915516	0.0323288	0.0010452	0	1.0033
13	V_gen_phase_V_W	0.9956144	0.0232505	5.41E-04	-5.00E-04	1.0065
14	Pemuaian_rotor	0.92083	0.0355283	0.0012623	0.4164	0.9892
15	Vib_1x	0.2940519	0.0130123	1.69E-04	0.1641	0.3281
16	Vib_1y	0.080712	0.0097916	9.59E-05	0.0625	0.1094
17	vib_2x	0.3230599	0.01816	3.30E-04	0.2656	0.3672
18	vib_2y	0.0620997	0.014971	2.24E-04	0.0469	0.1172

Standarisasi merupakan prosedur yang digunakan untuk membatu proses pembelajaran jaringan saraf tiruan som-kohonen, karena bobot vector masukan yang seragam memberikan kesalahan pembelajaran (*Learning rate error*) yang relatif lebih kecil dan dapat mencapai nilai yang konvergen.

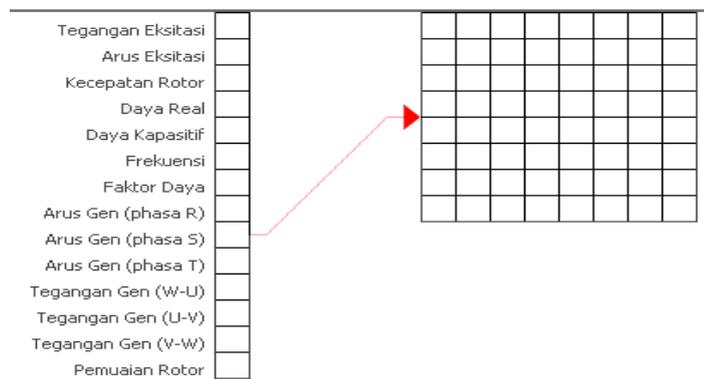
C. INISIALISASI TOPOLOGI JARINGAN SARAF TIRUAN SOM-KOHONEN

Inisialisasi topologi jaringan saraf tiruan som-kohonen dilakukan sebagai aturan pembelajaran dengan menentukan beberapa langkah sebagai berikut:

1. Menentukan ukuran ruang data masukan dan keluaran.

Ukuran ruang data masukan yang digunakan adalah jumlah parameter pemantauan (n) dalam satu baris ($n * 1$) dengan jumlah data masukan adalah $5817 * 18$ dan penentuan jumlah ruang pemetaan yang digunakan sebagai data hasil keluaran x dan y ($x * y$). Ukuran ruang pemetaan hanya dibatasi² pada tiga nilai yaitu ($6 * 6$), ($7 * 7$), ($8 * 8$) atau hanya 36, 49, 64 *clustering*.

Ruang pemetaan menghasilkan segmentasi pengelompokan berdasarkan jarak dari bobot pemenang dan data getaran yang menjadi indikasi yang memberikan ekstraksi informasi yang dibutuhkan dalam memantau pergerakan kegagalan.



Gambar 10 ruang data masukan ($n * 1$) kiri dan ruang keluaran ($x * y$) kanan

² Penulis membatasi penggunaan ruang pemetaan hanya pada $6 \times 6, 7 \times 7$ dan 8×8 dengan alasan keterbatasan komputasi pada alat komputasi, karena penulis pernah mencoba menggunakan pemetaan 50×50 dan menghasilkan kerusakan pada alat komputasi.

Bahwa sesungguhnya pemetaan $6 \times 6, 7 \times 7$ dan 8×8 memberikan hasil yang hampir sama, dan membuktikan feature som-kohonen yang menjaga informasi yang terkandung.

2. Menentukan fase pembelajaran.

Fase pembelajaran atau epoch digunakan untuk mengevaluasi bobot pemenang selama fase pembelajaran dengan menentukan fase pembelajaran sebanyak 1000 fase pembelajaran.

3. Menentukan jumlah data pembelajaran dan pengujian.

Penentuan jumlah data yang digunakan sebagai pembelajaran dan pengujian dilakukan dengan perbandingan jumlah data yang digunakan sebagai data uji adalah 33% dari total data masukan. Data uji digunakan untuk menguji tingkat kesalahan bobot pemenang hasil pembelajaran.

4. Menentukan fungsi rata-rata pembelajaran.

Fungsi yang digunakan pada pembelajaran pada som-kohonen ini adalah bersifat adaptive³ dengan nilai penambahan bernilai 0.05 dan nilai pengurangan bernilai 0.05 dan kecepatan pembelajaran yang digunakan adalah bernilai 0.05.

5. Menentukan fungsi kernel.

Som-kohonen ini menggunakan algoritma *winner take most (WTM)* seperti yang dijelaskan secara singkat pada bab II yang mengikutsertakan fungsi tetangga untuk evaluasi bobot pemenang sehingga fungsi kernel yang digunakan adalah

³ Fungsi rata-rata pembelajaran adaptive mengusahakan agar kesalahan pembelajaran adalah sama dengan kesalahan pembelajaran terakhir, jika nilai kesalahan pembelajaran lebih kecil dari kesalahan pembelajaran terakhir maka akan ditambah dengan nilai tertentu yang telah ditetapkan, hingga mendekati kesalahan pembelajaran terakhir, dan apabila kesalahan pembelajaran lebih besar dari kesalahan pembelajaran terakhir maka kesalahan pembelajaran ini akan dikurangi oleh nilai tertentu yang dikalikan kesalahan pembelajaran itu sendiri hingga mendekati kesalahan pembelajaran terakhir

fungsi kernel Gaussian⁴ dengan nilai distribusi⁵ secara *default* adalah berkisar antara inisialsigma 0.5 hingga finalsigma 0.05.

D. PEMBELAJARAN DATA DENGAN JARINGAN SARAF TIRUAN SOM-KOHONEN

Setelah inisialisasi topologi jaringan saraf tiruan som-kohonen dilakukan langkah berikutnya adalah proses pembelajaran atau pelatihan data dengan menggunakan ukuran ruang pemetaan yang telah ditentukan.

1. Pembelajaran dengan pemetaan 6x6

Pembelajaran dengan pemetaan 6x6 dilakukan dalam lima kali proses pembelajaran yang masing masing proses dilakukan dalam 1000 epoch, dengan tinjauan utama parameter getaran 1 sumbu x dan y.

Table 4 Pengujian pembelajaran dengan pemetaan 6x6 dengan parameter getaran 1 sumbu x

No	Arsitektur	Ruang pemetaan	iterasi	kecepatan pembelajaran	kesalahan pembelajaran	kesalahan pengujian
1	17x36	6x6	1000	0.05	1.6166209	1.8118129
2	17x36	6x6	1000	0.05	1.6392906	1.8823428
3	17x36	6x6	1000	0.05	2.34744	1.9734873
4	17x36	6x6	1000	0.05	1.5967404	1.8790842
5	17x36	6x6	1000	0.05	1.5850223	1.8451035

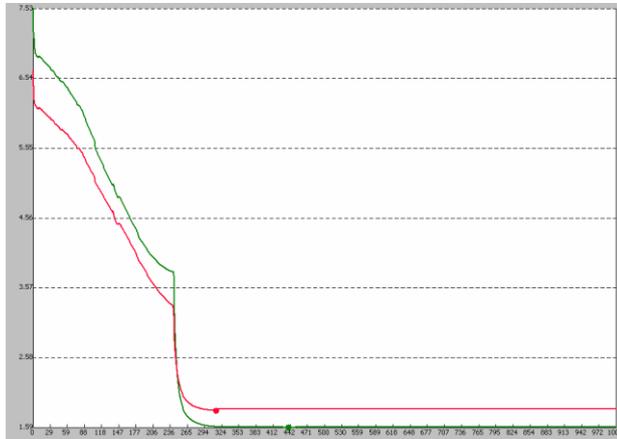
Table 5 Pengujian pembelajaran dengan pemetaan 6x6 dengan parameter getaran 1 sumbu y

No	Arsitektur	Ruang Pemetaan	iterasi	kecepatan Pembelajaran	Kesalahan Pembelajaran	Kesalahan Pengujian
1	17x36	6x6	1000	0.05	1.931967	1.9721785
2	17x36	6x6	1000	0.05	1.926828	1.9605092
3	17x36	6x6	1000	0.05	1.955976	2.0263886
4	17x36	6x6	1000	0.05	1.931967	1.9721785
5	17x36	6x6	1000	0.05	1.916941	1.9824495

⁴ Lihat persamaan 20 pada bab 2 ,implementasi kernel Gaussian pada som-kohonen

⁵ Jarak radius tetangga terhadap node pemenang yang semakin memusat

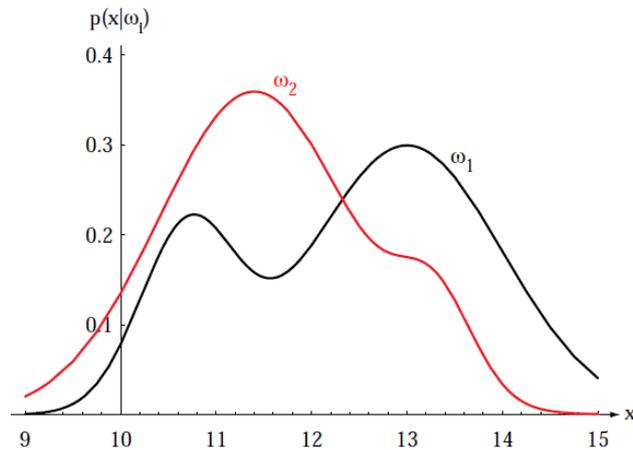
Dari kedua tabel pengujian pembelajaran diatas, didapatkan nilai dari lima pengujian. Pada tabel 4 pengujian kelima merupakan pengujian terbaik dengan kesalahan pembelajaran dan pengujian terkecil.



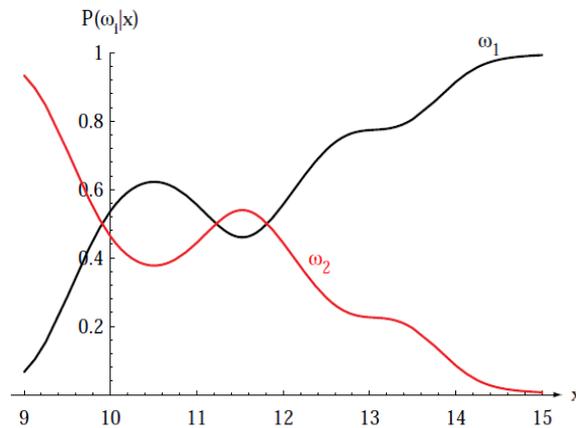
Gambar 11 grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 6x6 parameter getaran sumbu x 1 pengujian ke 5. Hijau kesalahan pembelajaran ,merah kesalahan pengujian

Dari gambar 11 grafik pembelajaran yang didapat dari pengujian dengan menggunakan parameter getaran 1 sumbu x dengan menggunakan fungsi kernel gaussian2 (multivariate density) yang tidak memusatkan bobot pemenang dalam satu titik yang berdekatan.

Sesungguhnya grafik kesalahan pembelajaran seperti pada gambar 11 didapat dari selisih proses pembelajaran pada masing masing bobot kerapataan yang tersebar yang diilustrasikan seperti pada gambar 12 dan 13.



Gambar 12 ilustrasi pembelajaran dengan multivariate density (Diambil dari Pattern Classification second edition, Richard O.Duda)

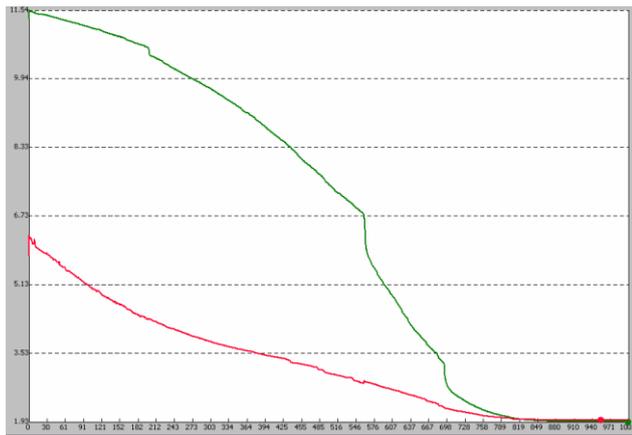


Gambar 13 ilustrasi kesalahan pembelajaran dengan multivariate density sebelum di jumlahkan seperti pada gambar 11 (Diambil dari Pattern Classification second edition, Richard O.Duda)

Nilai terbaik kesalahan pembelajaran pada gambar 11 didapat pada fase sekitar 240, kesalahan pembelajaran dan pengujian pada grafik ini tidak terlalu jauh berbeda, namun dari sisi komputasi menggunakan fungsi kernel gaussian2 (multivariate density) jauh lebih lama dibandingkan dengan fungsi kernel gaussian (univariate density), sehingga pada pengujian berikutnya hanya fungsi kernel gaussian1 (univariate density) saja yang digunakan.

Pada tabel 5 pengujian kedua yang digunakan dengan asumsi bahwa nilai ini adalah nilai terbaik dibandingkan dengan nilai pengujian yang lainya ditinjau dari grafik pembelajaran dan hasil tabel pengujian pembelajaran.

Dari gambar 14 grafik pembelajaran dan pengujian kedua yang menggunakan parameter getaran 1 sumbu y dapat dilihat bahwa nilai pengujian terbaik didapat pada fase sekitar 819, dengan jarak antara kesalahan pembelajaran dan pengujian terus menerus dievaluasi hingga mencapai nilai jarak kesalahan diantaranya yang tidak begitu jauh berbeda yang disebut nilai pengujian terbaik. Pada grafik pengujian pembelajaran pemetaan dengan menggunakan fungsi kernel gaussian univariated density memberikan waktu perhitungan yang lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan fungsi kernel gaussian multivariated density yang digunakan pada tabel 4 dan gambar 11, karena tidak mengalami penjumlahan bobot pemenang untuk grafik kesalahan pembelajaran.



Gambar 14 grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 6x6 parameter getaran sumbu y 1 pengujian ke 2. Hijau kesalahan pembelajaran, merah kesalahan pengujian

Sesungguhnya setiap pengujian pembelajaran menghasilkan indikasi kegagalan yang direpresentasikan dengan nilai parameter getaran. Pada parameter getaran 1 sumbu x sebagai tinjauan utama, nilai indikasi kegagalan bernilai 36, 37 dan 21

mic(p-p) seperti pada gambar 15, dan pada parameter getaran 1 sumbu y sebagai tinjauan utama, nilai indikasi kegagalan bernilai 9, 9 dan 11 mic(p-p). Tetapi pada setiap pengujian hanya letak urutan *clustering* atau yang disebut node saja yang berbeda-beda apakah di node 0 atau node lainya sampai node 35 (36 node, diawali dengan node 0).

40.0	40.0	41.0	36.0	36.0	35.0
39.0	39.0	38.0	37.0	38.0	35.0
38.0	37.0	40.0	37.0	37.0	37.0
39.0	37.0	37.0	38.0	38.0	37.0
21.0	37.0	40.0	38.0	38.0	38.0
37.0	37.0	40.0	38.0	37.0	37.0

37.0	40.0	37.0	40.0	41.0	39.0
38.0	40.0	37.0	39.0	35.0	36.0
21.0	40.0	38.0	38.0	37.0	35.0
36.0	39.0	38.0	37.0	36.0	37.0
38.0	37.0	38.0	38.0	38.0	37.0
40.0	37.0	40.0	37.0	37.0	37.0

Gambar 15 Pengujian 1 (kiri) dan Pengujian 5 (kanan) Pemetaan 6x6 dengan parameter getaran 1 sumbu x

12.0	13.0	11.0	11.0	12.0	
13.0	9.0	9.0	11.0	12.0	12.0
11.0	11.0	10.0	11.0	11.0	11.0
10.0	11.0	9.0	9.0	11.0	12.0
10.0	10.0	9.0	9.0	9.0	9.0
9.0	10.0	9.0	10.0	10.0	10.0

11.0	11.0	9.0	9.0	9.0	10.0
9.0	11.0	9.0	9.0	9.0	10.0
11.0	9.0	9.0	9.0	10.0	11.0
13.0	10.0	9.0	10.0	12.0	11.0
12.0	12.0	11.0	13.0	12.0	12.0
13.0	13.0	11.0	11.0	12.0	11.0

Gambar 16 Pengujian 1 (kiri) dan Pengujian 2 (kanan) Pemetaan 6x6 dengan parameter getaran 1 sumbu y

Dari gambar 15 pengujian 1 pemetaan 6x6 parameter getaran 1 sumbu x, indikasi penyimpangan dapat dilihat pada nilai getaran 37 mic(p-p) pada node 0, nilai getaran 21 mic(p-p) pada node 12, nilai getaran 36 mic(p-p) pada node 26. Sedangkan pada gambar 15 pengujian 5 pemetaan 6x6 getaran 1 sumbu x, indikasi penyimpangan dapat dilihat pada nilai getaran yang sama yaitu getaran

37 mic(p-p) pada node 13, getaran 36 mic(p-p) pada node 19, getaran 21 mic(p-p) pada node 24.

Dan pada gambar 16 pengujian 1 pemetaan 6x6 getaran 1 sumbu y, indikasi penyimpangan dapat dilihat pada nilai getaran 11 mic(p-p) pada node 1, 9 mic(p-p) pada node 16, dan 9 mic(p-p) pada node 30.

Dan pada gambar 16 pengujian 2 pemetaan 6x6 getaran 2 sumbu y, indikasi penyimpangan dapat dilihat pada nilai getaran 11 mic(p-p) pada node 30, 9 mic(p-p) pada node 20 dan 9mic(p-p) pada node 23.

Gradasi warna dari node mengindikasikan evaluasi bobot yang mana semakin terang maka bobot semakin mendekati bobot pemenang, sedangkan semakin berwarna maka bobot semakin jauh dari bobot pemenang. Dengan kata lain warna node terang putih menunjukkan kondisi baik, warna node merah menunjukkan penyimpangan, semakin merah maka nilai penyimpangan semakin jauh dari standar nilai acuan yaitu bobot pemenang.

Gradasi warna node memberikan informasi kondisi penyimpangan pada rotor generator secara garis besar. Untuk memberikan informasi yang lebih terperinci dari kondisi penyimpangan tersebut maka data keluaran hasil pemetaan dimining kembali atau direpresentasikan dalam bentuk *surface diagram* atau diagram permukaan baik dalam bentuk dua maupun tiga dimensi.

Dari diagram permukaan dua dimensi pembelajaran pemetaan 6x6 diperoleh informasi penyimpangan dari keunikan (*feature*) hubungan dari parameter pemantauan yang digunakan sebagai data yang pada diagram permukaan ini ditunjukkan oleh segmentasi-segmentasi.

Dari diagram permukaan (*surface diagram*) pengujian kelima pemetaan 6x6 parameter getaran 1 sumbu x dan pengujian kedua pemetaan 6x6 parameter getaran 1 sumbu y didapat informasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhinya seperti pada tabel 6 dan 7 berikut dan yang pada gambar diagram permukaan ditunjukkan pada segmentasi berwarna merah seperti pada gambar 17 dan 19:

Table 6 hubungan indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi pengujian ke-5 pemetaan 6x6 parameter getaran 1 sumbu x

no	node penyimpangan	nilai indikasi penyimpangan/getaran (mic(p-p))	Parameter Pemantauan yang mempengaruhi indikasi penyimpangan					
			Kecepatan Rotor	frekuensi	faktor daya	Tegangan Gen w-u	Tegangan Gen u-v	Tegangan Gen v-w
1	n13	37			-22.74			
2	n19	36					-30.5	
3	n24	21	-43.7	-31.6		-42.8		-42.3

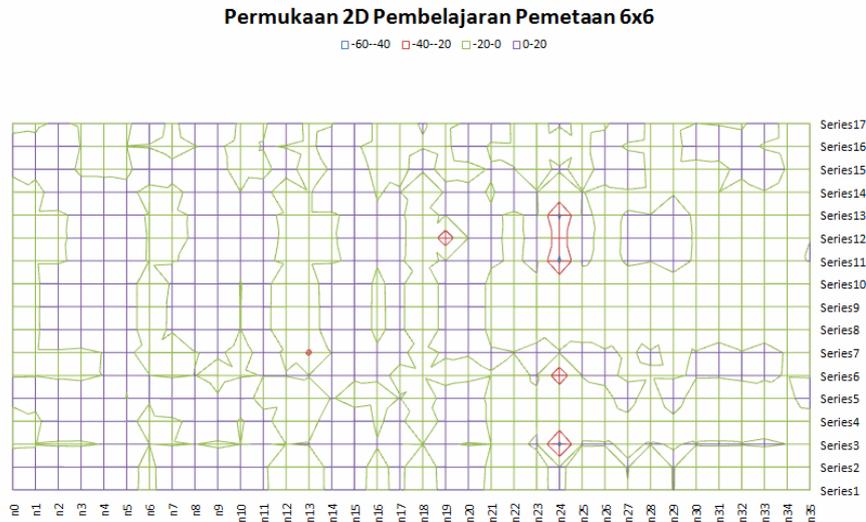
Table 7 hubungan indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi pengujian ke-2 pemetaan 6x6 parameter getaran 1 sumbu y

no	node penyimpangan	nilai indikasi penyimpangan/getaran	Parameter Pemantauan yang mempengaruhi indikasi penyimpangan					
			Kecepatan Rotor	frekuensi	faktor daya	Tegangan Gen w-u	Tegangan Gen u-v	Tegangan Gen v-w
1	n20	9			-23.136			
2	n23	9					-30.322	
3	n30	11	-43.723	-51.445		-43.097		-42.06

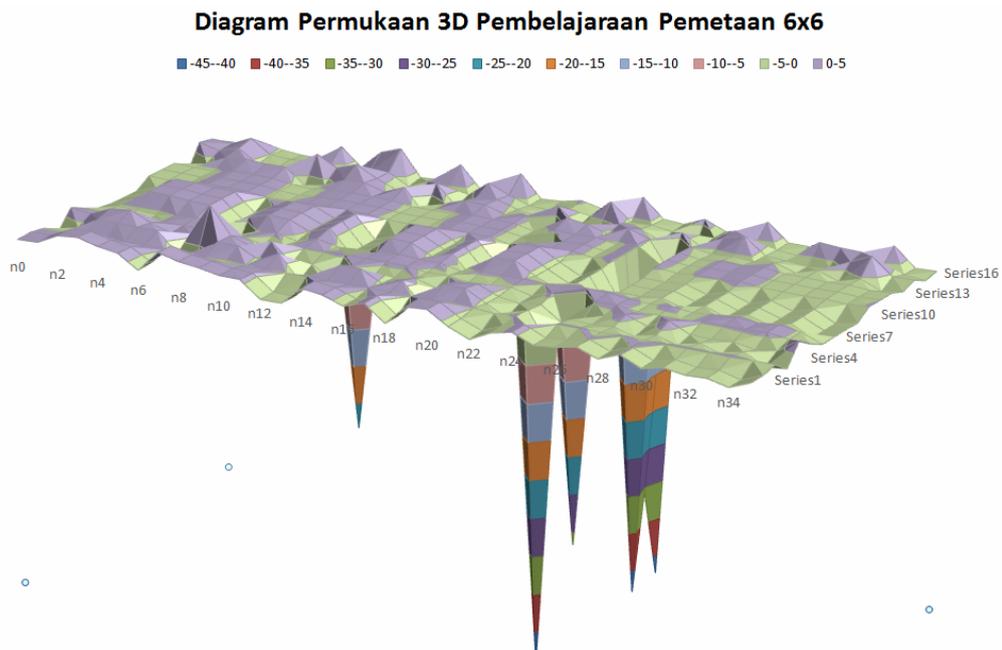
Dari tabel 6, diketahui bahwa indikasi penyimpangan pada node 13 dipengaruhi oleh faktor daya, indikasi penyimpangan pada node 19 dipengaruhi oleh tegangan generator fasa u-v, dan indikasi penyimpangan pada node 24 dipengaruhi oleh kecepatan rotor, frekuensi dan tegangan generator fasa w-u dan v-w.

Begitu pula dari tabel 7, diketahui penyimpangan pada node 20 dipengaruhi oleh faktor daya, indikasi penyimpangan pada node 23 dipengaruhi oleh tegangan

generator fasa u-v, dan indikasi penyimpangan pada node 30 dipengaruhi oleh kecepatan rotor, frekuensi dan tegangan generator fasa w-u dan v-w.



Gambar 17 Diagram Permukaan 2D Pembelajaran Pemetaan 6x6 pengujian ke-5 parameter getaran 1 sumbu x



Gambar 18 Diagram Permukaan 3D Pembelajaran Pemetaan 6x6 pengujian ke-5 parameter getaran 1 sumbu x

Gambar 17 memberikan ilustrasi dua dimensi pola yang menunjukkan pergerakan kegagalan kondisi generator dengan pembelajaran pemetaan 6x6 yang ditinjau

dari getaran 1 sumbu x. Series menunjukkan parameter-parameter pemantauan yang diurutkan berdasarkan tabel 1 yang tidak diikuti parameter getaran yang menjadi tinjauan utama.

Pola penyimpangan pada gambar 17, dapat dilihat pada node berwarna merah yang pada diagram permukaan dan pada diagram permukaan seterusnya akan disebut segmentasi. Sesungguhnya warna pada segmentasi menunjukkan jarak penyimpangan terhadap nilai batas acuan⁶, yang mana jarak terhadap nilai acuan seperti yang tertera pada legenda keterangan warna pada gambar 17 dan juga 18.

Semisal dari gambar 17 bahwa penyimpangan pada segmentasi yang berwarna biru terang berada pada jangkauan nilai (-60 hingga -40) yang dapat diartikan bahwa penyimpangan pada node tersebut berjarak pada nilai 40 hingga 60 dibawah batas acuan.

Pada gambar 18 yang memberikan ilustrasi kondisi penyimpangan yang ditunjukkan dengan adanya segmentasi yang berbentuk duri yang pada diagram permukaan secara tiga dimensi dan seterusnya akan disebut dengan spike.

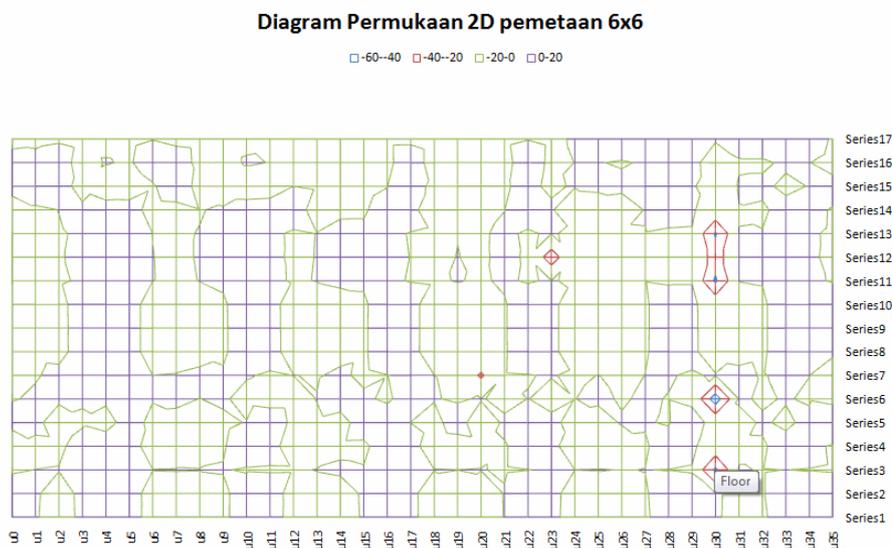
Sesungguhnya spike pada gambar 18 merupakan segmentasi penyimpangan berwarna merah pada gambar 17 yang dilihat pada sudut pandang tiga dimensi x, y dan z. yang mana x merepresentasikan node, y merepresentasikan parameter atau series dan z merepresentasikan jarak penyimpangan dari garis batas acuan.

Semisal dari gambar 18 bahwa spike pada node 24 yang berwarna biru terang yang berada pada jangkauan nilai (-45 hingga -40) memberikan arti bawa spike

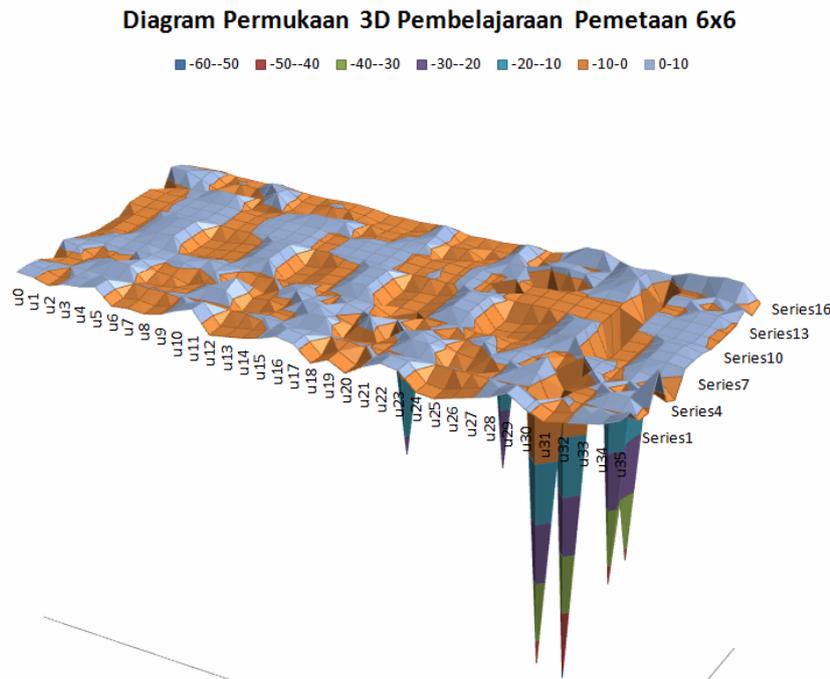
⁶ Nilai batas acuan pada diagram permukaan merepresentasikan nilai bobot pemenang

node tersebut merepresentasikan jarak penyimpangan berada pada nilai 40 hingga 45 dibawah garis batas acuan.

Bobot pemenang pada pengujian pembelajaran pemetaan 6x6 dengan parameter getaran 1 sumbu x sebagai tinjauan utama adalah 1.44, yang mana nilai bobot pemenang ini menjadi nilai acuan atau mean pada grafik diagram permukaan pada gambar 17 dan 18. Segmentasi penyimpangan yang ditunjukkan pada segmentasi berwarna merah pada diagram permukaan gambar 17 dikelompokkan berdasarkan node, memiliki nilai bobot penyimpangan sebagai berikut, segmentasi pada node 13 yang dipengaruhi oleh parameter faktor daya memiliki bobot penyimpangan sebesar 554.9, dan segmentasi pada node 19 yang dipengaruhi oleh parameter tegangan generator u-v memiliki bobot penyimpangan sebesar 909. Dan segmentasi pada node 24 yang dipengaruhi oleh beberapa parameter seperti kecepatan rotor, nilai frekuensi, nilai tegangan generator w-u dan nilai tegangan generator v-w memberikan nilai bobot penyimpangan sebesar 7404.326 dengan catatan bahwa nilai ini adalah penjumlahan nilai bobot penyimpangan keempat parameter yang mempengaruhinya.



Gambar 19 Diagram Permukaan 2D pembelajaran pemetaan 6x6 pengujian ke-2 parameter getaran 1 sumbu y



Gambar 20 Diagram Permukaan 3D Pembelajaran Pemetaan 6x6 Pengujian ke-2 parameter getaran 1 sumbu y

Gambar 19 dan 20 yang merepresentasikan lapisan keluaran pembelajaran dengan pemetaan 6x6 dengan parameter getaran 1 sumbu y sebagai tinjauan utama kedalam diagram permukaan dua dan tiga dimensi memberikan ilustrasi pola penyimpangan yang ditunjukkan dengan segmentasi berwarna merah dan spike pada diagram permukaan seperti tampak pada gambar.

Bobot pemenang pada pembelajaran ini adalah bernilai 3.554 yang menjadi nilai batas acuan. Segmentasi yang berwarna merah seperti pada gambar 19 memiliki bobot penyimpangan seperti segmentasi pada node 20 yang dipengaruhi oleh parameter faktor daya yang memberikan nilai bobot penyimpangan sebesar 563.424. Dan segmentasi pada node 23 yang dipengaruhi oleh parameter tegangan generator u-v yang memiliki bobot penyimpangan sebesar 927.622. Dan segmentasi pada node 30 yang dipengaruhi oleh beberapa parameter pemantauan

sebagai berikut kecepatan putar rotor, frekuensi, tegangan generator w-u dan tegangan generator v-w memberikan bobot penyimpangan sebesar 7544.128 yang merupakan akumulasi bobot penyimpangan dari keempat parameter.

Spike pada gambar 20 memberikan ilustrasi segmentasi penyimpangan dalam sudut pandang tiga dimensi x, y dan z. Pada node 30 terdapat empat spike yang menunjukkan empat parameter yang mempengaruhi penyimpangan pada segmentasi node 30 yang mana bobot penyimpangan merupakan penjumlahan bobot penyimpangan parameter pada node ini, dan oleh karenanya sebagai contoh mengapa jarak penyimpangan pada salah satu spike pada node 30 ini tidak terlalu jauh dengan jarak penyimpangan spike pada node 23.

Table 8 nilai bobot pemenang dan bobot penyimpangan pada pembelajaran pemetaan 6x6 parameter getaraan 1 sumbu x.

No	Node	Bobot Pemenang	Bobot Penyimpangan	Jumlah Spike
1	n13	1.49	554.9	1
2	n19		909	1
3	n24		7404.326	4

Table 9 nilai bobot pemenang dan bobot penyimpangan pada pembelajaran pemetaan 6x6 parameter getaraan 1 sumbu y.

No	Node	Bobot Pemenang	Bobot Penyimpangan	Jumlah Spike
1	n20	3.544	563.424	1
2	n23		927.622	1
3	n30		7544.128	4

2. Pembelajaran dengan pemetaan 7x7

Pembelajaran dengan pemetaan 7x7 sama seperti pembelajaran sebelumnya dilakukan dalam lima kali pengujian yang tiap pengujian mengalami 1000 fase dengan nilai pengujian terbaik yang digunakan untuk merepresentasikan hasil pembelajaran dengan menggunakan parameter getaran 1 sumbu x dan sumbu y sebagai tinjauan utama, tetapi pada pembelajaran ini mengalami perluasan *clustering* 7x7 sehingga dihasilkan 49 node (node diawali dari node 0 hingga node 48).

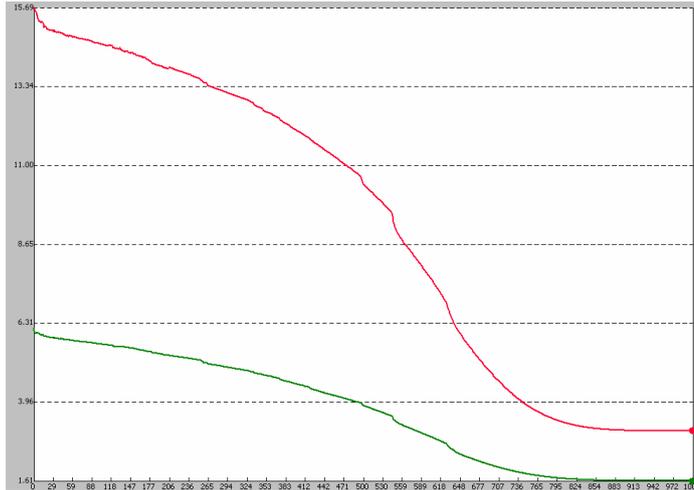
Table 10 Pengujian Pembelajaran dengan pemetaan 7x7 dengan parameter getaran 1 sumbu x

No	Arsitektur	Ukuran Pemetaan	Iterasi	Kecepatan Pembelajaran	Kesalahan Pembelajaran	Kesalahan Pengujian
1	17x49	7x7	1000	0.05	1.643701	3.07681
2	17x49	7x7	1000	0.05	1.556029	3.06887
3	17x49	7x7	1000	0.05	1.612484	3.091964
4	17x49	7x7	1000	0.05	1.603593	3.115517
5	17x49	7x7	1000	0.05	1.567157	3.068723

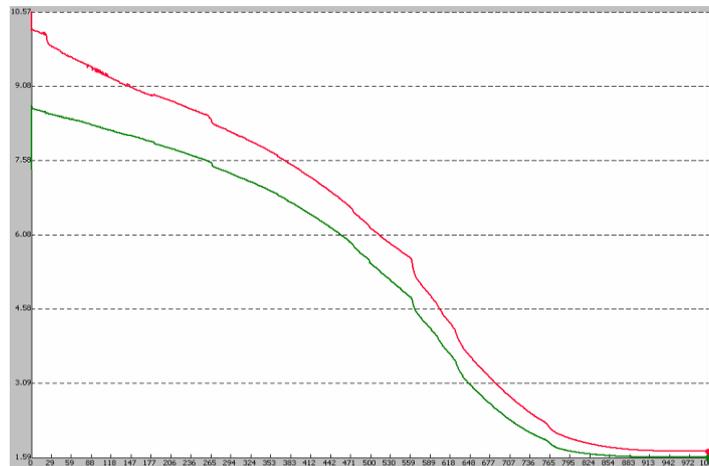
Table 11 Pengujian Pembelajaran dengan pemetaan 7x7 dengan parameter getaran 1 sumbu y

No	Arsitektur	Ukuran Pemetaan	iterasi	kecepatan Pembelajaran	Kesalahan Pembelajaran	Kesalahan Pengujian
1	17x49	7x7	1000	0.05	1.643701	3.07681
2	17x49	7x7	1000	0.05	1.590122	1.709568
3	17x49	7x7	1000	0.05	1.607166	1.73219
4	17x49	7x7	1000	0.05	1.604007	1.704506
5	17x49	7x7	1000	0.05	1.61	1.77

Dari kedua tabel pengujian pembelajaran dengan pemetaan 7x7 diatas diasumsikan bahwa pengujian kedua tabel 10 merupakan nilai terbaik ditinjau dari kesalahan pembelajaran. Dan pada tabel 11, nilai terbaik merupakan nilai pengujian kedua ditinjau dari kesalahan pembelajaran dan kesalahan pengujian.



Gambar 21 grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu x pengujian ke-2. Hijau kesalahan pembelajaran ,merah kesalahan pengujian



Gambar 22 grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu y pengujian ke-2. Hijau kesalahan pembelajaran ,merah kesalahan pengujian

Dari dua gambar grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 7x7 diatas yang menggunakan kernel Gaussian univariate density dalam pola evaluasi bobot tampak bahwa nilai dari kesalahan dari pembelajaran dan pengujian semakin menurun seiring dengan penambahan tingkatan fase. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mengalami peningkatan pemahaman pembelajaran.

Grafik pembelajaran dan pengujian diatas tampak bahwa nilai pengujian terbaik mulai didapat pada sekitar fase ke 824 pada pembelajaran pemetaan 7x7

parameter getaran 1 sumbu x, dan pada sekitar fase ke 913 pada pembelajaran 7x7 parameter getaran 1 sumbu y.

Dari gambar 21 dan tabel 10 tampak bahwa pada grafik pembelajaran pemetaan 7x7 ini terdapat selisih antara kesalahan pembelajaran dan kesalahan pengujian yang relative lebih besar dibandingkan selisih antara kesalahan pembelajaran dan kesalahan pengujian pada grafik pembelajaran pemetaan *clustering* lainnya (gambar 22 dan tabel 11). Selisih kesalahan yang relative besar ini sangat mempengaruhi keakuratan data kesalahan yang dimunculkan, seperti pada gambar 23 pembelajaran dengan menggunakan parameter getaraan 1 sumbu x hanya dua indikasi getaraan saja yang dapat dimunculkan.

Indikasi getaran penyimpangan pada pembelajaran pemetaan 7x7 dapat dilihat pada gambar pemetaan lapisan keluaran berikut:

37.0	21.0	38.0	37.0	37.0	40.0	39.0
37.0	38.0	37.0	38.0	40.0	40.0	40.0
40.0	37.0	38.0	37.0	40.0	40.0	39.0
37.0	37.0	36.0	37.0	38.0	38.0	38.0
39.0	40.0	37.0	37.0	37.0	38.0	38.0
40.0	38.0	35.0	35.0	36.0	37.0	37.0
41.0	40.0	36.0	36.0	39.0	41.0	38.0

Kohonen

9.0	10.0	10.0	11.0	12.0	11.0	13.0
10.0	10.0	10.0	10.0	11.0	9.0	12.0
10.0	10.0	9.0	9.0	10.0	9.0	13.0
10.0	9.0	9.0	9.0	11.0	13.0	11.0
10.0	9.0	9.0	11.0	9.0	12.0	11.0
9.0	9.0	10.0	11.0	12.0	9.0	11.0
9.0	10.0	10.0	12.0	12.0	12.0	11.0

Kohonen

Gambar 23 pengujian ke-2 pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu x (kiri), pengujian ke-2 pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu y(kanan).

Dari gambar 23 pengujian diatas nampak bahwa pada pengujian kedua pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu x, indikasi penyimpangan ditunjukkan pada node 1 dengan nilai 21 mic(p-p) dan node 4 dengan nilai 37 mic(p-p).

Dan indikasi penyimpangan pada pengujian kedua pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu y ditunjukkan pada node 0 dengan nilai 9 mic(p-p), node 3 dengan nilai 11 mic(p-p), dan pada node 32 dengan nilai 9 mic(p-p).

Lebih terperinci lagi lapisan keluaran pemetaan direpresentasikan dalam diagram permukaan (*surface diagram*) baik dalam dua dimensi maupun tiga dimensi untuk mengetahui hubungan antara indikasi penyimpangan dan parameter yang mempengaruhi seperti padat tabel berikut.

Table 12 hubungan indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi pengujian ke-2 pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu x

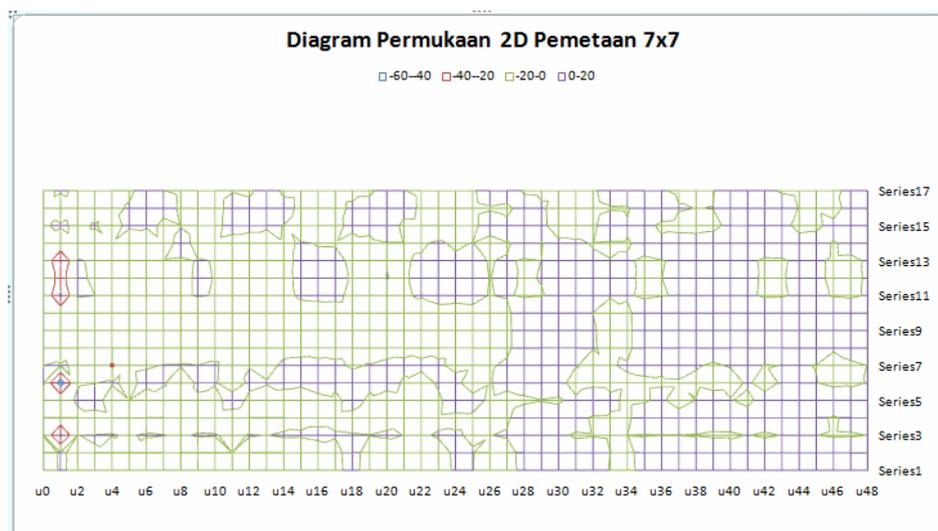
no	node penyimpangan	nilai indikasi penyimpangan/geta	Parameter Pemantauan yang mempengaruhi indikasi					
			Kecepatan Rotor	frekuensi	faktor daya	Tegangan Gen w-u	Tegangan Gen u-v	Tegangan Gen v-w
1	n1	21	-43.0396	-50.646		-42.423		-41.404
2	n4	37			-23.25			

Table 13 hubungan indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi pengujian ke-2 pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu y

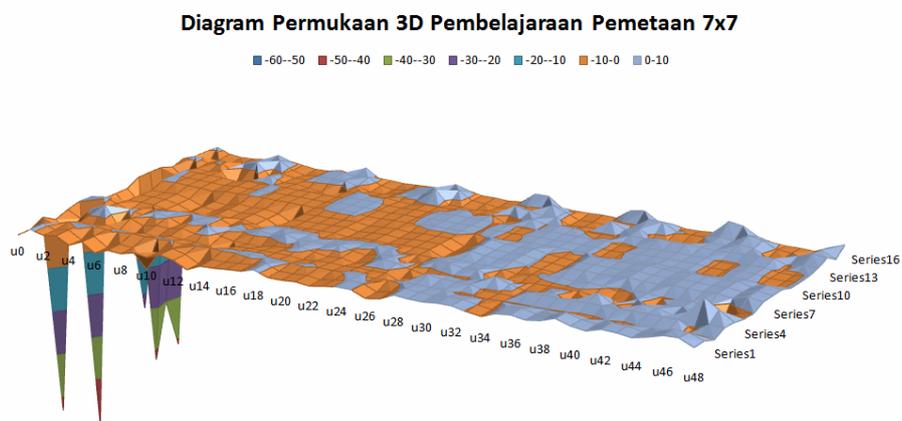
no	node penyimpangan	nilai indikasi penyimpangan/getaran	Parameter Pemantauan yang mempengaruhi indikasi					
			Kecepatan Rotor	frekuensi	faktor daya	Tegangan Gen w-u	Tegangan Gen u-v	Tegangan Gen v-w
1	n0	9			-23.248			
2	n32	9					-29.67	
3	n3	11	-43.6794	-51.3952		-43.054		-42

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hubungan indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi pada pengujian kedua pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu x, node 1 adalah parameter kecepatan rotor, frekuensi generator, tegangan generator w-u, dan tegangan generator v-w. Dan pada node 4 indikasi penyimpangan dipengaruhi oleh faktor daya.

Sedangkan indikasi penyimpangan pada pada pengujian kedua pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu y, node 0 dipengaruhi oleh parameter faktor daya, node 32 dipengaruhi oleh parameter tegangan generator u-v, dan pada node 3 dipengaruhi oleh parameter kecepatan rotor, frekuensi, tegangan generator w-u dan tegangan generator v-w.



Gambar 24 Diagram Permukaan 2D Pembelajaran Pemetaan 7x7 Pengujian ke-2 parameter getaran 1 sumbu x

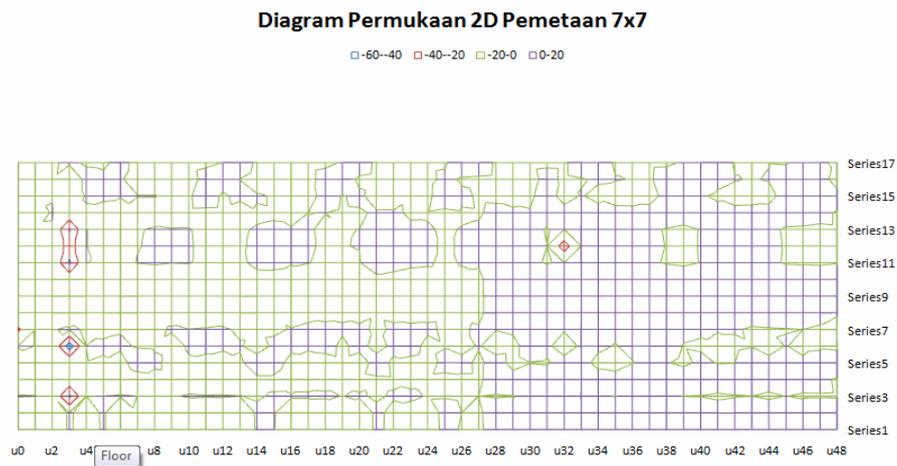


Gambar 25 Diagram Permukaan 3D Pembelajaran Pemetaan 7x7 Pengujian ke-2 parameter getaran 1 sumbu x

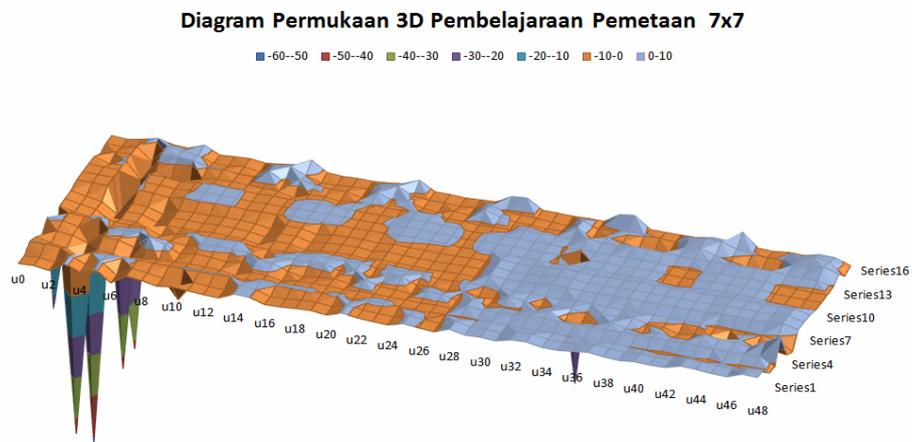
Dari gambar diagram permukaan dua dan tiga dimensi diatas dari pembelajaran pemetaan 7×7 parameter 1 sumbu x, tampak bahwa indikasi penyimpangan ditunjukkan oleh dua node segmentasi yaitu pada node 1 yang dipengaruhi oleh parameter kecepatan putar rotor, frekuensi, tegangan generator w-u dan tegangan generator v-w dan pada node 4 yang dipengaruhi oleh parameter faktor daya. Hal ini disebabkan karena jarak antara kesalahan pengujian dan pembelajaran yang relatife jauh seperti pada keterangan gambar 21 dan table 10.

Pada diagram permukaan, bobot pemenang didapatkan pada nilai 1.157, dan bobot penyimpangan pada segmentasi node 1 yang dipengaruhi oleh empat parameter pemantauan seperti keterangan diatas bernilai 7855.86, dan bobot penyimpangan pada segmentasi node 4 yang dipengaruhi oleh parameter faktor daya bernilai 554.547.

Pada gambar 25 yang merepresentasikan dalam sudut pandang tiga dimensi x, y dan z, penyimpangan ditunjukkan dengan adanya spike pada node 1 dan node 4.



Gambar 26 Diagram Permukaan 2D Pembelajaran Pemetaan 7x7 Pengujian ke-2 parameter 1 getaran sumbu y



Gambar 27 Diagram Permukaan 3D Pembelajaran Pemetaan 7x7 Pengujian ke-2 parameter getaran 1 sumbu y

Dari gambar diagram permukaan dua dan tiga dimensi diatas yang didapatkan dari pembelajaran pemetaan 7x7 parameter getaraan 1 sumbu y, indikasi penyimpangan ditunjukkan oleh segmentasi pada node 0 yang dipengaruhi oleh parameter faktor daya, segmentasi pada node 3 yang dipengaruhi oleh parameter kecepatan putar rotor, frekuensi,tegangan generator w-u dan v-w, segmentasi pada node 32 yang dipengaruhi oleh parameter tegangan generator u-v.

Pada pembelajaran pemetaan 7x7 parameter getaran 1 sumbu y ini didapatkan bobot pemenang yang bernilai 3.544, dan bobot penyimpangan segmentasi pada node 0 yang dipengaruhi oleh parameter faktor daya bernilai 563.424. Bobot penyimpangan segmentasi pada node 3 yang dipengaruhi oleh empat parameter pemantauan seperti keterangan diatas bernilai 7544.128. Bobot penyimpangan segmentasi pada node 32 yang dipengaruhi oleh parameter tegangan generator u-v bernilai 927.622.

Dari gambar 27, spike yang mengindikasikan bobot penyimpangan paling besar ditunjukkan pada node 3, yang mana pada node ini jumlah spike sebanyak 4 yang merepresentasikan empat parameter yang mempengaruhi seperti pada keterangan diatas.

Table 14 nilai bobot pemenang dan bobot penyimpangan pada pembelajaran pemetaan 7x7 parameter getaraan sumbu x1

No	Node	Bobot Pemenang	Bobot Penyimpangan	Jumlah Spike
1	1	1.157	7855.86	4
2	4		554.547	1

Table 15 nilai bobot pemenang dan bobot penyimpangan pada pembelajaran pemetaan 7x7 parameter getaraan sumbu y1

No	Node	Bobot Pemenang	Bobot Penyimpangan	Jumlah Spike
1	0	3.544	563.424	1
2	3		7544.128	4
3	32		927.622	1

3. Pembelajaran dengan pemetaan 8x8

Pembelajaran dengan pemetaan 8x8 sama halnya dengan pengujian sebelumnya dilakukan dalam lima kali pengujian yang masing-masing pengujian mengalami 1000 fase pembelajaran, hanya saja perubahan topologi lapisan keluaran ini, menghasilkan perluasan *clustering* menjadi 64 node (dimulai dari node 0 hingga node 63).

Table 16 Pengujian Pembelajaran dengan pemetaan 8x8 dengan parameter getaran 1 sumbu x

No	Arsitektur	Ukuran Pemetaan	iterasi	kecepatan Pembelajaran	Kesalahan Pembelajaran	Kesalahan Pengujian
1	17x64	8x8	1000	0.05	1.3570324	1.444341
2	17x64	8x8	1000	0.05	1.3901515	1.477742
3	17x64	8x8	1000	0.05	1.4100319	1.488757
4	17x64	8x8	1000	0.05	1.3436236	1.4458
5	17x64	8x8	1000	0.05	1.366352	1.462165

Table 17 Pengujian Pembelajaran dengan pemetaan 8x8 dengan parameter getaran 1 sumbu y

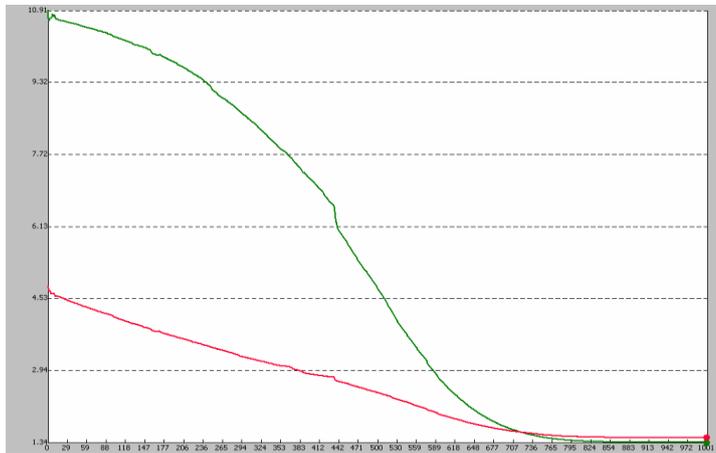
No	Arsitektur	Ukuran Pemetaan	iterasi	kecepatan Pembelajaran	Kesalahan Pembelajaran	Kesalahan Pengujian
1	17x64	8x8	1000	0.05	1.3221501	1.470892
2	17x64	8x8	1000	0.05	1.3425468	1.460394
3	17x64	8x8	1000	0.05	1.3812349	1.522052
4	17x64	8x8	1000	0.05	1.3341807	1.463015
5	17x64	8x8	1000	0.05	1.4245195	1.539773

Dari kedua tabel pengujian diatas pengujian keempat yang digunakan untuk merepresentasikan pengujian pembelajaran dengan pemetaan 8x8 ini, dengan asumsi bahwa nilai kesalahan pembelajaran dan pengujian merupakan nilai terbaik dari kelima pengujian.

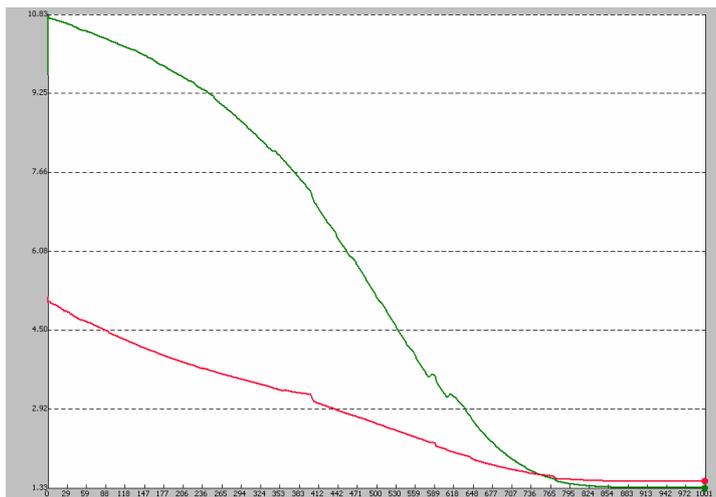
Dari tabel 16, sesungguhnya nilai terbaik bukanlah nilai pada pengujian keempat melainkan nilai pengujian pertama, tetapi nilai hasil pembelajaran pengujian pertama tidak bisa diambil sehingga diputuskan bahwa pengujian keempat

yang terbaik yang digunakan untuk merepresentasikan pengujian pembelajaran dengan pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu y.

Gambar pengujian kesalahan pembelajaran dan kesalahan pengujian seperti tampak pada gambar berikut:



Gambar 28 grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu x pengujian ke-4. Hijau kesalahan pembelajaran ,merah kesalahan pengujian



Gambar 29 grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu y pengujian ke-4. Hijau kesalahan pembelajaran ,merah kesalahan pengujian

Gambar 28 dan 29 grafik kesalahan pembelajaran pemetaan 8x8 diatas menggunakan kernel Gaussian univariate density, mendapatkan nilai terbaik

pada sekitar fase ke-854 baik pada parameter getaran 1 sumbu x dan y. Kesalahan pembelajaran dan pengujian dievaluasi selama fase pembelajaran hingga mencapai selisih jarak yang relative lebih kecil yang mempengaruhi keakuratan informasi data yang ditimbulkan pada lapisan pemetaan.

Selisih kesalahan pembelajaran dan pengujian pada pembelajaran pemetaan 8x8 ini seperti tampak pada table pengujian 16 dan 17 yang mana nilai kesalahan pembelajaran bernilai 1.3 dan kesalahan pengujian bernilai 1.4.

Hasil pengujian pembelajaran dengan pemetaan 8x8 seperti tampak pada lapisan keluaran berikut ini yang diwakili oleh pengujian keempat baik pada pengujian dengan tinjauan parameter getaran 1 sumbu x maupun sumbu y.

37.0	37.0	39.0	37.0	36.0	37.0	37.0	35.0
40.0	37.0	37.0	37.0	36.0	37.0	37.0	35.0
38.0	37.0	38.0	38.0	36.0	37.0	37.0	36.0
36.0	37.0	37.0	37.0	38.0	37.0	36.0	36.0
40.0	40.0	36.0	36.0	38.0	37.0	39.0	36.0
39.0	40.0	40.0	40.0	41.0	40.0	41.0	40.0
38.0	41.0	38.0		37.0	37.0	40.0	39.0
39.0	39.0	38.0	38.0	37.0	38.0	40.0	39.0

12.0	12.0	11.0	11.0	11.0	12.0	11.0	12.0
11.0	11.0	11.0	10.0	11.0	9.0	11.0	12.0
9.0	12.0	11.0	12.0	9.0	9.0	9.0	10.0
12.0	11.0	10.0	9.0	13.0	13.0	10.0	10.0
11.0	11.0	10.0	11.0	11.0	13.0	10.0	9.0
9.0	9.0	9.0	10.0	9.0	9.0	10.0	10.0
9.0	10.0	10.0	9.0	10.0	9.0	9.0	9.0
10.0	10.0	11.0	10.0	10.0	9.0	9.0	9.0

Gambar 30 pengujian ke-4 pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu x (kiri), pengujian ke-4 pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu y (kanan).

Dari gambar pengujian pembelajaran dengan pemetaan 8x8 diatas didapatkan indikasi penyimpangan pada lapisan keluaran pada parameter getaraan 1 sumbu x adalah 37 mic(p-p) pada node 26, 21 mic(p-p) pada node 34, dan 36 mic(p-p) pada node 35.

Dan pada pengujian pembelajaran dengan pemetaan 8x8 didapat indikasi penyimpangan pada lapisan keluaran pada parameter getaran 1 sumbu y adalah 11 mic(p-p) pada node 20, 9 mic(p-p) pada node 21 dan 9 mic(p-p) pada node 22.

Sama seperti pengujian pembelajaran sebelumnya, hasil pembelajaran dengan pemetaan 8x8 ini direpresentasikan kedalam bentuk diagram permukaan baik dua dimensi maupun tiga dimensi untuk memberikan informasi hubungan yang lebih jelas antara indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi.

Table 18 hubungan indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi pengujian ke-4 pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu x

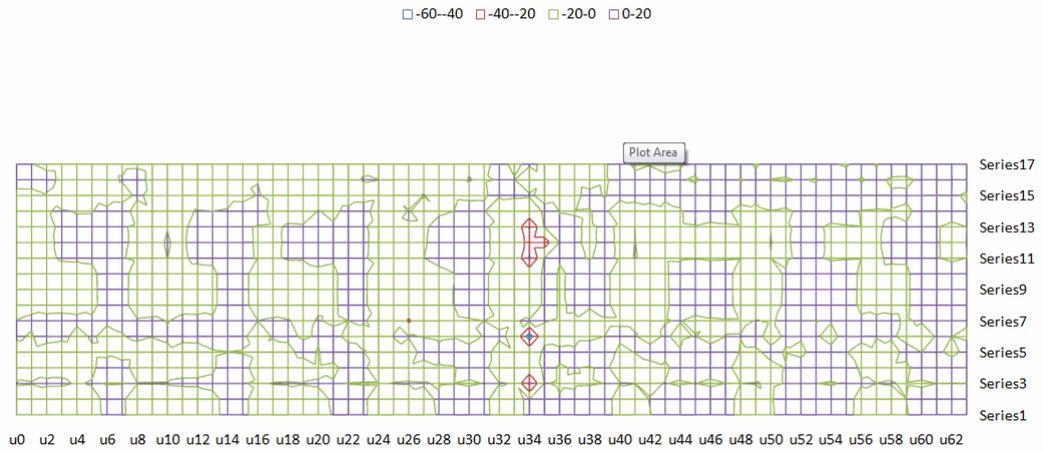
no	node penyimpangan	nilai indikasi penyimpangan	Parameter Pemantauan yang mempengaruhi indikasi penyimpangan					
			Kecepatan Rotor	frekuensi	faktor daya	Tegangan Gen w-u	Tegangan Gen u-v	Tegangan Gen v-w
1	n26	37			-23.2184			
2	n35	36					-30.3412	
3	n34	21	-43.773	-51.51		-43.1459		-42.108

Table 19 hubungan indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan yang mempengaruhi pengujian ke-4 pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu y

no	node penyimpangan	nilai indikasi penyimpangan	Parameter Pemantauan yang mempengaruhi indikasi penyimpangan					
			Kecepatan Rotor	frekuensi	faktor daya	Tegangan Gen w-u	Tegangan Gen u-v	Tegangan Gen v-w
1	n22	9			-23.2367			
2	n21	9					-30.248	
3	n20	11	-43.722	-51.444		-43.0956		-42.059

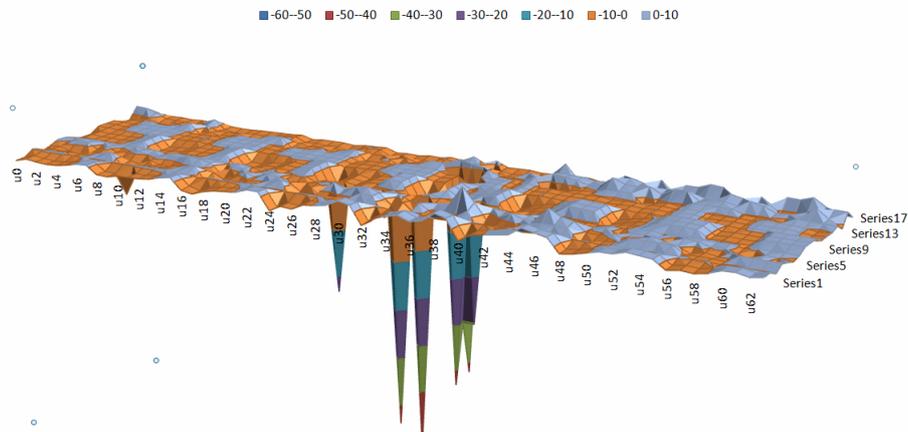
Dari hasil representasi lapisan keluaran kedalam bentuk diagram permukaan didapat hubungan antara indikasi penyimpangan dan parameter pemantauan. Pola hubungan antara indikasi penyimpangan dan parameter yang mempengaruhi memiliki pola yang hampir sama seperti pola yang didapat pada pengujian pembelajaran dengan menggunakan pemetaan 6x6 dan 7x7 yang dibahas pada sub bab pembahasan.

Diagram Permukaan 2D Pemetaan 8x8



Gambar 31 Diagram Permukaan 2D Pembelajaran Pemetaan 8x8 Pengujian ke-4 parameter getaran 1 sumbu x

Diagram Permukaan 3D Pembelajaran Pemetaan 8x8



Gambar 32 Diagram Permukaan 3D Pembelajaran Pemetaan 8x8 Pengujian ke-4 parameter getaran 1 sumbu x

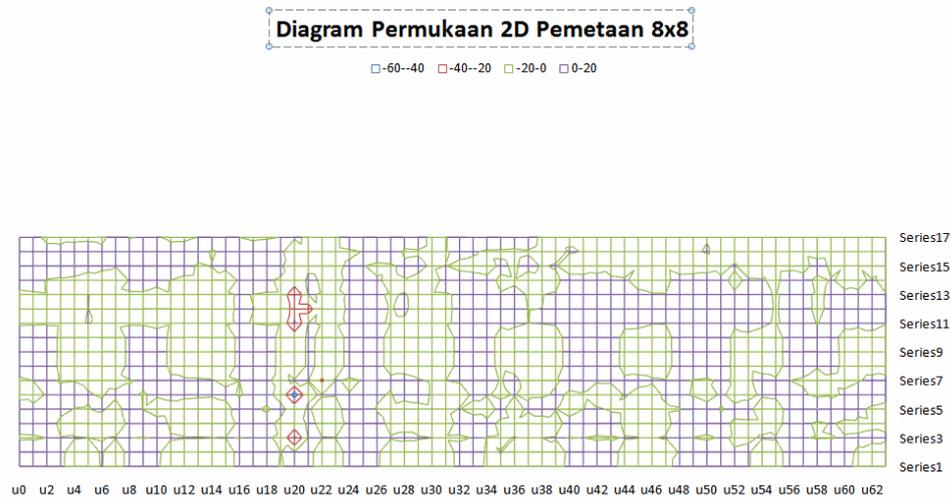
Dari gambar diagram permukaan diatas baik dalam dua dimensi maupun tiga dimensi, indikasi penyimpangan ditunjukkan oleh segmentasi berwarna merah pada diagram permukaan dua dimensi dan ditunjukkan oleh spike pada diagram permukaan tiga dimensi.

Pada pembelajaran pemetaan 8x8 parameter 1 sumbu x didapat nilai bobot pemenang yang menjadi nilai batas acuan penyimpangan adalah bernilai 0.56.

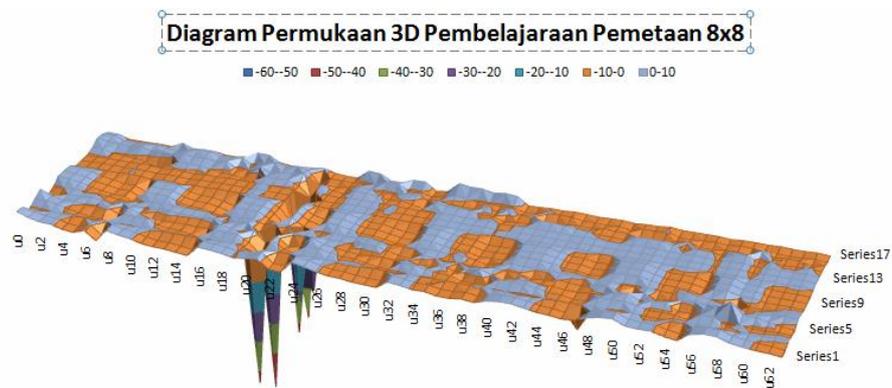
Dan bobot penyimpangan pada segmentasi pada node 26 yang dipengaruhi oleh parameter faktor daya adalah bernilai 562.518, dan bobot penyimpangan pada segmentasi pada node 34 yang dipengaruhi oleh empat parameter pemantauan yaitu kecepatan putar rotor, frekuensi, tegangan generator w-u dan v-w adalah bernilai 7465.09. Dan nilai bobot penyimpangan pada segmentasi pada node 35 yang dipengaruhi oleh parameter tegangan generator u-v adalah bernilai 931.806 .

Sama seperti pada pengujian dengan pemetaan sebelumnya, spike pada pengujian pembelajaran dengan pemetaan 8x8 ini memberikan informasi secara visualisasi penyimpangan pada kondisi rotor generator yang mana semakin banyak jumlah spike dan semakin jauh jarak spike dari garis batas acuan yang mengindikasikan besarnya pergerakan penyimpangan.

Dan pada pembelajaran pemetaan 8x8 parameter 1 sumbu x yang direpresentasikan dengan diagram permukaan tiga dimensi ini, jumlah spike paling banyak terdapat pada node 34 yang mengindikasikan besarnya penyimpangan yang dipengaruhi oleh empat parameter pemantauan seperti pada keterangan diatas (seperti penjelasan pada diagram permukaan dua dimensi).



Gambar 33 Diagram Permukaan 2D Pembelajaran Pemetaan 8x8 Pengujian ke-4 parameter getaran 1 sumbu y



Gambar 34 Diagram Permukaan 3D Pembelajaran Pemetaan 8x8 Pengujian ke-4 parameter getaran 1 sumbu y

Pada diagram permukaan seperti pada gambar diatas yang merepresentasikan lapisan keluaran pembelajaran pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu y baik secara dua maupun tiga dimensi.

Pada diagram permukaan dua dimensi, penyimpangan ditunjukkan oleh segmentasi berwarna merah pada node 20, 21, dan 22. Bobot pemenang pada pembelajaran pemetaan 8x8 parameter sumbu y 1 ini adalah bernilai 0.47. Dan

bobot penyimpangan pada segmentasi pada node 20 yang dipengaruhi oleh empat parameter pemantauan yaitu kecepatan putar rotor, frekuensi, tegangan generator w-u dan tegangan generator v-w adalah bernilai 7922.37. Dan bobot penyimpangan pada segmentasi pada node 21 yang dipengaruhi oleh tegangan generator u-v adalah bernilai 938.46. Dan bobot penyimpangan pada segmentasi pada node 22 yang dipengaruhi oleh faktor daya adalah bernilai 563.8.

Ditinjau dari diagram permukaan secara tiga dimensi seperti pada gambar 34 yang mana penyimpangan ditunjukkan oleh spike, dimana spike pada node 20 dengan jumlah paling banyak (empat parameter yang mempengaruhinya) yang mengindikasikan nilai penyimpangan paling besar pada pembelajaran pemetaan 8x8 parameter getaran 1 sumbu y.

Table 20 nilai bobot pemenang dan bobot penyimpangan pada pembelajaran pemetaan 8x8 parameter getaraan 1 sumbu x

No	Node	Bobot Pemenang	Bobot Penyimpangan	Jumlah Spike
1	26	0.56	562.518	1
2	34		7465.09	4
3	35		931.806	1

Table 21 nilai bobot pemenang dan bobot penyimpangan pada pembelajaran pemetaan 8x8 parameter getaraan 1 sumbu y

No	Node	Bobot Pemenang	Bobot Penyimpangan	Jumlah Spike
1	20	0.47	7922.37	4
2	21		938.46	1
3	22		563.8	1

4. Rekayasa Pembelajaran Pemetaan 8x8

Rekayasa data pembelajaran pemetaan 8x8 dilakukan guna memberikan gambaran pola yang terjadi pada data parameter pemantauan yang mengalami kerusakan, dan juga memberikan gambaran perbandingan antara pola data parameter getaran hasil pembelajaran dengan dan tanpa rekayasa. Rekayasa data dilakukan dengan mengubah nilai parameter yang secara teori mempengaruhi kerusakan pada rotor generator dengan melakukan rekayasa yang memperhitungkan korelasi linear dan tanpa memperhitungkan korelasi linear dengan parameter lainnya.

A. Rekayasa pembelajaran tanpa memperhitungkan korelasi linear

Rekayasa pembelajaran tanpa memperhitungkan korelasi linear dilakukan dengan menaikkan nilai parameter tegangan dan arus eksitasi sebagai simulasi kerusakan rotor generator dan lapisan pemetaan keluaran hasil rekayasa pembelajaran adalah sebagai berikut:

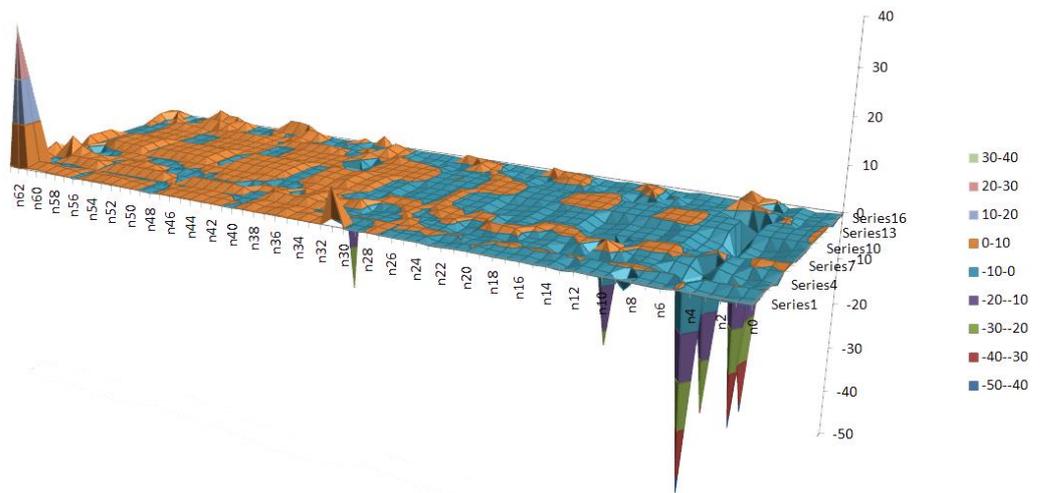
37.0	37.0	37.0	38.0	37.0	21.0	39.0	38.0
37.0	37.0	38.0	38.0	37.0		40.0	37.0
37.0	36.0	37.0	38.0	41.0	40.0	40.0	37.0
37.0	37.0	36.0	37.0	40.0	39.0	37.0	37.0
37.0	38.0	37.0	37.0	37.0	39.0	41.0	36.0
38.0	38.0		35.0	35.0	36.0	39.0	40.0
38.0	36.0	37.0	37.0	36.0	37.0	39.0	40.0
38.0	38.0	37.0	36.0	36.0	39.0	37.0	41.0

Gambar 35 lapisan pemetaan keluaran hasil rekayas pembelajaran 8x8

Lapisan pemetaan keluaran hasil rekayasa pembelajaran menghasilkan pola getaran indikasi kegagalan yang ditunjukkan oleh node merah dengan nilai getaran 21, 37, 36 dan 37 mic(p-p).

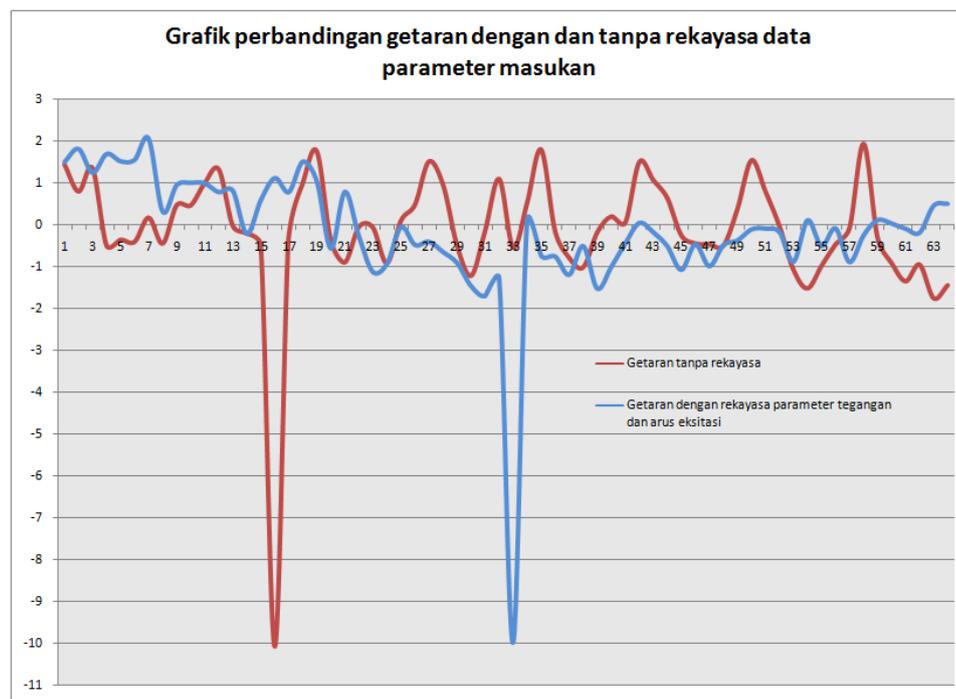
Rekayasa data parameter masukan menyebabkan perubahan topologi bobot vector data masukan, yang mengakibatkan peroses pemetaan pada lapisan keluaran pun mengalami perubahan topologi bobot vector data. Sehingga dari rekayasa data tersebut menyebabkan timbulnya satu node baru yang memiliki jarak yang jauh dari bobot pemenang yaitu bernilai 1114.64 dari bobot pemenang yang bernilai 0.893 yang ditunjukkan oleh getaran bernilai 37 mic(p-p) pada node 64 atau matriks bobot W_{87} , dan bobot pemenang sendiri dari rekayasa data ini mengalami pergeseran dari 0.56 menjadi 0.893 dari data pemetaan pembelajaran yang sama tanpa rekayasa data parameter masukan.

Dan dalam grafik permukaan tiga dimensi, pola rekayasa data parameter masukan menyebabkan timbulnya spike positif dari batasan acuan yang merepresentasikan nilai arus dan tegangan eksitasi yang telah direkayasa dengan menaikkan nilai yang menggambarkan bentuk penyimpangan akibat perubahan kedua parameter tersebut, dan ternyata memberikan perubahan yang signifikan pada perubahan bobot penyimpangan.



Gambar 36 diagram permukaan 3 dimensi hasil rekayasa pembelajaran 8x8 parameter tegangan dan arus eksitasi.

Dan spike negative yang berada dibawah batas acuan merepresentasikan bentuk indikasi penyimpangan yang terjadi sesungguhnya yang mana spike ini muncul pada pola data dengan dan tanpa rekayasa data parameter masukan, dan berikut merupakan pola perbandingan getaran yang mengalami dan tanpa rekayasa data



Gambar 37 grafik perbandingan getaran hasil pembelajaran dengan dan tanpa rekayasa parameter masukan

Grafik perbandingan getaran hasil pembelajaran dengan dan tanpa rekayasa data parameter masukan, memberikan pola urutan waktu yang berbeda. Pola getaran tanpa rekayasa data yang dalam hal ini diasumsikan sebagai data baik akan lebih menjaga perubahan periodenya untuk berada pada garis nol, sedangkan pola getaran dengan rekayasa data yang disimulasikan sebagai kegagalan mengalami perubahan periode yang berada diatas dan dibawah garis nol, sehingga dari grafik perbandingan ini dapat terlihat bentuk getaran yang mengalami penyimpangan atau kegagalan yang dipengaruhi oleh parameter data masukan yang dalam rekayasa ini dilakukan pada tegangan dan arus eksitasi

Rekayasa data parameter masukan arus dan tegangan eksitasi ini mensimulasikan kondisi kegagalan yang pada umumnya sangat berperan dalam terjadinya kegagalan insulasi pada kumparan rotor dan menyebabkan pembengkokan poros rotor yang dari gambar pola getaran akan menyebabkan perubahan priode tidak berada digaris nol, sehingga hal ini dapat dijadikan pengetahuan dalam predictive maintenance rotor generator.

B. Rekayasa pembelajaran dengan memperhitungkan korelasi linear

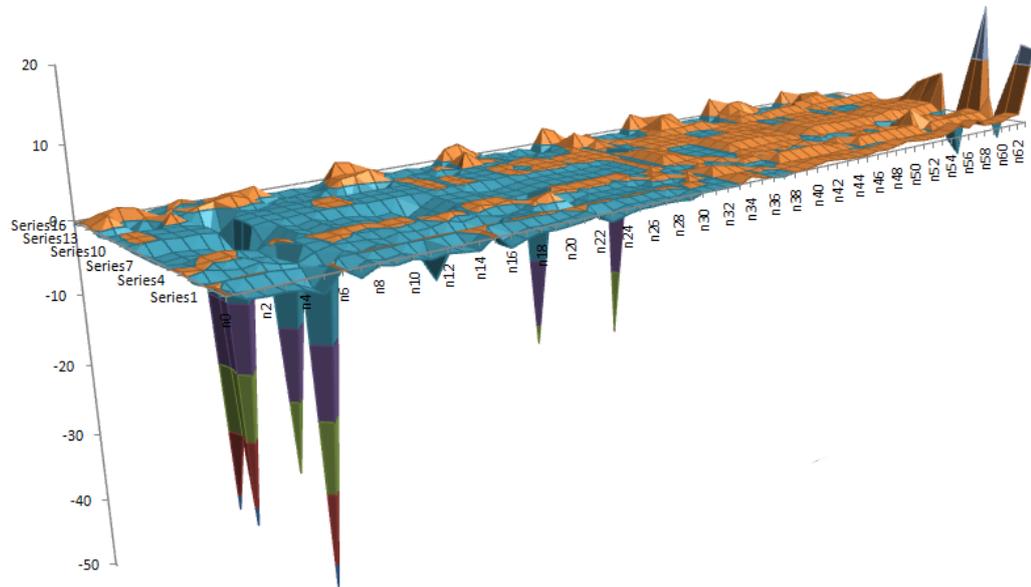
Rekayasa pembelajaran dengan memperhitungkan korelasi linear antar parameter dilakukan dengan mengubah nilai faktor daya yang diikuti perubahan nilai parameter lainnya dengan hasil pemetaan adalah sebagai berikut:

40.0	40.0	37.0	40.0	38.0	37.0	21.0	38.0
39.0	40.0	37.0	37.0	37.0	38.0	37.0	40.0
40.0	38.0	39.0	37.0	37.0	38.0	37.0	37.0
36.0	38.0		37.0	36.0	37.0	37.0	37.0
36.0	38.0		40.0	37.0	37.0	38.0	37.0
37.0	38.0	40.0	40.0	35.0	37.0	37.0	38.0
37.0	40.0	37.0	39.0	35.0	35.0	36.0	39.0
38.0	41.0	39.0	39.0	37.0	36.0	36.0	41.4..

Gambar 38 lapisan pemetaan hasil rekayasa pembelajaran dengan memperhitungkan korelasi linear antar parameter

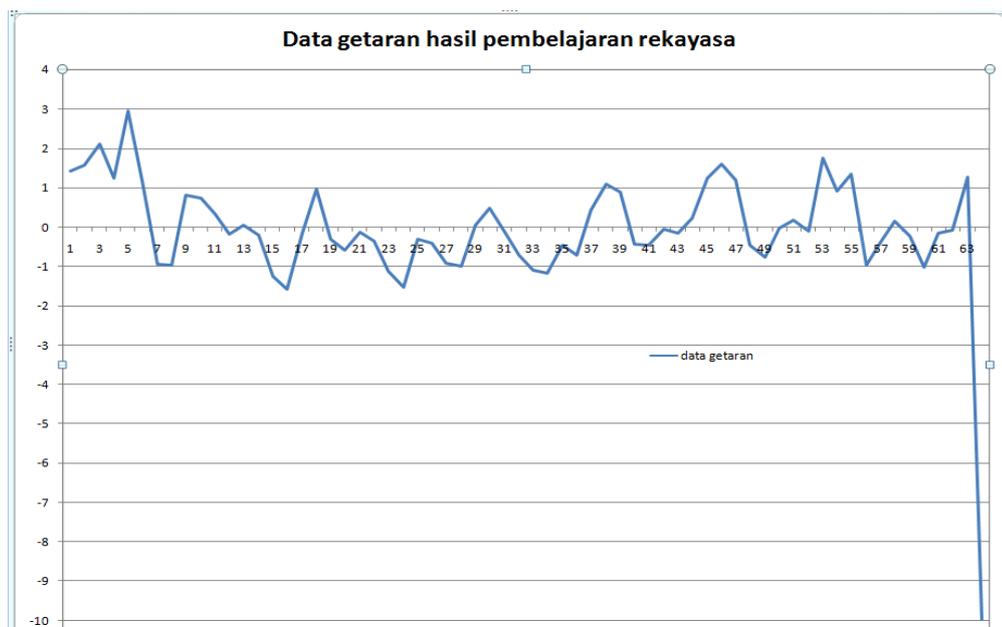
Lapisan pemetaan hasil rekayasa pembelajaran dengan memperhitungkan korelasi linear seperti diatas menghasilkan perubahan topologi bobot vector data masukan yang dilakukan dengan mensimulasi kegagalan pada faktor daya dengan menurunkan nilai faktor daya yang diikuti oleh perubahan parameter pemantauan lainnya semisal kenaikan arus dan tegangan eksitasi, daya reaktif dan kenaikan getaran. Indikasi getaraan lapisan ditunjukkan oleh nilai 21, 36, 37 dan 41.3 mic(p-p). Node baru dengan nilai indikasi 41.3 mic(p-p) dengan bobot penyimpangan sebesar 753.3841, dan bobot pemenang pada pembelajaran dengan rekayasa adalah bernilai 0.16

Dari diagram permukaan dua dimensi seperti tampak pada gambar 39, simulasi kegagalan yang dilakukan dengan menurunkan nilai faktor daya menyebabkan nilai arus dan tegangan dan daya reaktif bergerak menyimpang diatas batas acuan dan faktor daya bergerak menyimpang dibawah batas acuan.



Gambar 39 diagram permukaan dua dimensi hasil rekayasa pembelajaran

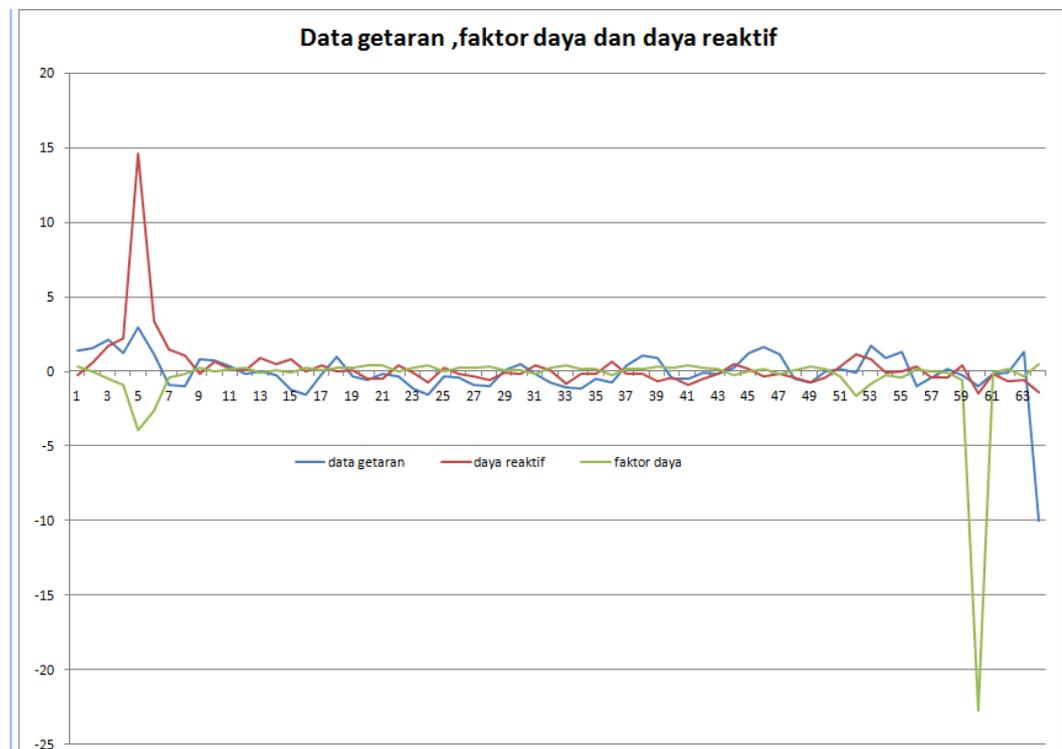
Sedangkan dari bentuk getaran sebagai indikasi utama kegagalan ini adalah sebagai berikut:



Gambar 40 data getaran hasil pembelajaran rekayasa faktor daya dengan memperhitungkan korelasi linear dengan parameter lainnya

Gambar 40 data getaran yang mengindikasikan kegagalan yang diakibatkan kegagalan faktor daya ditunjukkan pada data getaran urutan ke 5, 52, dan 60 walaupun sesungguhnya dua indikasi getaran terakhir tidak begitu tampak.

Sesungguhnya kegagalan yang diakibatkan pemburukan faktor daya tidak secara langsung mempengaruhi getaran, tetapi pemburukan faktor daya sangat berdampak pada kenaikan arus eksitasi dan kenaikan daya reaktif yang sangat mempengaruhi kenaikan nilai getaran seperti yang tampak pada gambar berikut yang memberikan hubungan antara faktor daya, getaran dan daya reaktif



Gambar 41 hubungan grafik data getaran,faktor daya dan daya reaktif

Dari gambar 41 ketika terjadi pemburukan faktor daya yang disimulasikan dengan penurunan faktor daya, sehingga menyebabkan kenaikan daya reaktif yang diikuti oleh kenaikan arus eksitasi untuk mengkompensasi atau mempertahankan magnetisasi pada kumparan magnet rotor, sehingga terjadinya kenaikan arus yang

mempengaruhi kenaikan getaran. Seperti yang terlihat pada gambar 41 bahwa daya reaktif, getaran berbanding terbalik dengan faktor daya.

Kecepatan putar rotor dan frekuensi secara teori adalah berbanding lurus dan sehingga apabila timbul penyimpangan yang mempengaruhi dan atau yang dipengaruhi oleh salah satu parameter akan berimbas pada parameter yang lainnya. Sesungguhnya penyimpangan getaran terjadi salah satunya akibat terjadinya penyimpangan pada poros rotor yang dapat diakibatkan pemanasan yang tak merata pada poros rotor yang diperkuat ketika kecepatan putar rotor meningkat dan juga menyebabkan frekuensi berubah berbanding lurus terhadap perubahan kecepatan putar rotor. Sesungguhnya kecepatan putar memberikan gaya yang menerpa kumparan yang berpengaruh sebagai faktor penuaan insulasi dan kumparan pada sisi rotor sendiri.

Poros rotor yang tidak merata menyebabkan distribusi fluks Φ atau kerapatan fluks magnetik (B) tidak merata yang mempengaruhi tegangan induksi pada ketiga fasa generator yang berpengaruh terhadap tegangan terminal generator.

$$\hat{V}_{ta} = -R_a \hat{I}_a - jX_s \hat{I}_a + \hat{E}_{af} \quad (25)$$

Dimana

$$E_{af} = \sqrt{2} \pi f k_w N_{ph} \phi_{af} \quad (26)$$

Hubungan antara faktor daya dan getaran secara tidak langsung dihubungkan oleh distribusi fluks Φ atau kerapatan fluks magnetik (B) tidak merata.

Faktor daya sesungguhnya dapat dikatakan perbandingan atau rasio antara daya nyata (P) dan daya kompleks (S), dimana daya kompleks sesungguhnya adalah resultan antara daya nyata (P) dan daya reaktif (Q). Daya reaktif dibutuhkan peralatan magnetisasi untuk menghasilkan fluks magnetik. Secara sederhana faktor daya dapat ditulis seperti persamaan berikut.

$$pf = \frac{P}{S} \quad (27)$$

$$pf = \frac{P}{P+Q} \quad (28)$$

Dari persamaan diatas faktor daya akan mendekati satu apabila daya reaktif Q mendekati 0, tetapi pada kenyataanya pada sistem tenaga listrik pembebanan pada jaringan ada yang bersifat induktif yang membutuhkan injeksi daya reaktif Q dari sumber (dalam hal ini adalah pembangkit) yang berarti terjadinya pembangkitan fluks magnetik pada kumparan magnet (rotor) dan distribusi fluks magnetik⁷ yang tidak merata mempengaruhi nilai dari faktor daya dan juga mempengaruhi getaran rotor generator.

Walaupun faktor daya tidak secara langsung mempengaruhi getaran, tetapi pemburukan faktor daya sangat berpengaruh pada kegagalan elektrik rotor generator, seperti yang dilakukan dengan simulasi pada rekayasa data masukan dengan melakukan pemburukan faktor daya. Ketika nilai faktor daya diturunkan semisal dari nilai $pf=0.99$ menjadi $pf=0.5$ maka arus eksitasi akan meningkat, daya reaktif meningkat yang diikuti oleh peningkatan nilai getaran, walaupun pola

⁷ Dari persamaan 25 dapat dilihat bahwa sesungguhnya tegangan induksi berbanding lurus dengan *air gap fluks* per kutub, sehingga apabila terjadi ketidak simetrian poros rotor akan menyebabkan distribusi fluks tidak merata yang menyebabkan peningkatan arus eksitasi untuk membuat distribusi fluks tidak terlalu jauh berbeda dan dapat mungkin mengawali kegagalan rotor generator lainnya semisal kerusakan insulasi lapisan rotor dan menyebabkan getaran tidak merata.

getaran akibat pemburukan faktor daya tidak begitu nampak perubahannya seperti pola getaran akibat pemburukan arus dan tegangan eksitasi yang menyebabkan osilasi getaran tidak terjaga pada batas acuan.

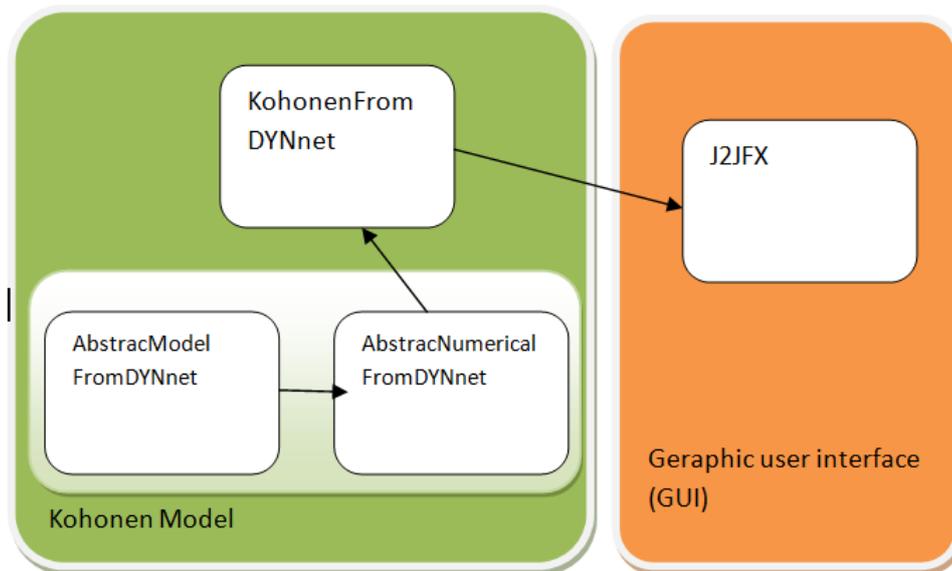
E. PEMODELAN JARINGAN SARAF TIRUAN SOM-KOHONEN

Setelah melakukan beberapa langkah pembelajaran dengan menggunakan pola pemetaan yang berbeda dan didapatkan nilai hasil pembelajaran yang disebut nilai prototype yang dijadikan nilai dasar pemantauan pada pemodelan som-kohonen yang dijadikan aplikasi pemantauan kondisi rotor generator.

Adapun nilai prototype yang digunakan adalah nilai hasil pembelajaran rekayasa pemetaan 8x8 dengan menggunakan perhitungan korelasi linear. seperti tertera pada lampiran

Pemodelan jaringan saraf tiruan som-kohonen yang berikutnya disebut model som-kohonen menggunakan *graphic user interface* (GUI) yang dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman javafx-java, dengan tujuan mempermudah operator atau enjiniring pembangkitan dalam memahami hasil keluaran pengujian dengan som-kohonen sebagai assessment kondisi rotor generator dengan 17 nilai parameter getaran sumbu x1 yang dijadikan basis tinjauan sebagai nilai masukan.

Adapun skema model som-kohonen adalah sebagai berikut:



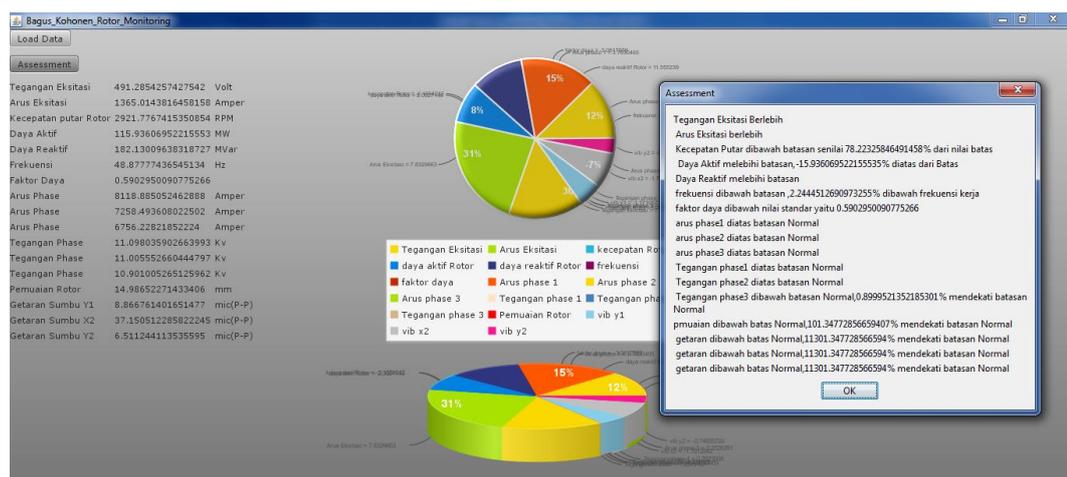
Gambar 42 skema model som-kohonen

Skema model som-kohonen seperti pada gambar 42 terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian GUI atau antarmuka yang interaksi dengan pengguna dan bagian yang melakukan perhitungan dengan menggunakan nilai prototype sebagai nilai acuan.

Bagian antarmuka menerima masukan berupa 17 nilai data getaran sumbu x1 yang dimasukan oleh pengguna dan kemudian nilai tersebut *diparsing* pada bagian perhitungan. Pada bagian perhitungan, 17 nilai data getaran masukan tersebut mengalami pencocokan dengan menggunakan pengujian kohonen dengan menggunakan aturan Euclidean sebagai selisih bobot masukan dengan bobot pemenang, dan kemudian hasil selisih 17 bobot masukan tersebut dicocokkan dengan kondisi prototype yang telah didapat dari hasil pembelajaran pemetaan sebelumnya dan kemudian diklasifikasikan bahwa nilai masukan getaran ini menunjukkan kondisi tingkatan penyimpangan rotor seperti pada prototype node beberapa.

Nilai hasil keluaran yang mengindikasikan kondisi tingkat penyimpangan rotor generator ini kemudian ditampilkan kembali pada bagian antarmuka sebagai nilai *assessment* dengan terlebih dahulu dikonversi kembali kedalam satuan pengukuran yang mudah dimengerti oleh pengguna.

Adapun contoh antarmuka pemodelan som-kohonen tersebut adalah seperti berikut:



Gambar 43 tampilan antarmuka pemodelan som-kohonen

Adapun langkah pengujian dengan menggunakan pemodelan som-kohonen adalah sebagai berikut:

Pengujian pemodelan disampling dengan menggunakan tiga kondisi nilai getaran yaitu yang disebut data uji, adapun data uji adalah sebagai berikut

Datauji1=[24,44,20,44,25,46,27,27,45,46,46,43,25,27,23,24,24]

Datauji2=[9100,7100,7100,7100,7100,10100,7100,77100,7100,7100,7100,8100,7100,7100,58100,7100,7100]

Datauji3=[1100,1600,17,12,16,110,15.6,15,16.8,1,19,19,18,1,1200,18,19.8]

Datauji1 merupakan nilai getaran yang masih berada dibawah batasan nilai standar getaran yaitu dibawah 128 mic(p-p), dan datauji2 merupakan nilai getaran yang berada diatas batasa nilai standar getaran, dan nilai datauji3 dengan nilai yang melebihi dan dibawah batasan standar nilai getaran menghasilkan nilai keluaran berupa nilai parameter pemantauan lainnya yang dijadikan sebagai nilai assessment.

Tegangan Eksitasi	217.62444853032997 Volt	Tegangan Eksitasi	491.2854257427542 Volt	Tegangan Eksitasi	293.3291796403311 Volt
Arus Eksitasi	621.6408602045448 Amper	Arus Eksitasi	1365.0143816458158 Amper	Arus Eksitasi	803.886725225972 Amper
Kecepatan putar Rotor	3012.260909969349 RPM	Kecepatan putar Rotor	2921.7767415350854 RPM	Kecepatan putar Rotor	3010.4065430707906 RPM
Daya Aktif	85.07455489912483 MW	Daya Aktif	115.93606952215553 MW	Daya Aktif	97.50496108812635 MW
Daya Reaktif	18.28975493546713 MVar	Daya Reaktif	182.13009638318727 MVar	Daya Reaktif	50.2767601167044 MVar
Frekuensi	50.1483865977186 Hz	Frekuensi	48.87777436545134 Hz	Frekuensi	50.094015239281056 Hz
Faktor Daya	0.8298477183427821	Faktor Daya	0.5902950090775266	Faktor Daya	0.7552401000902689
Arus Phase	4647.281257943865 Amper	Arus Phase	8118.885052462888 Amper	Arus Phase	5890.69357897704 Amper
Arus Phase	4491.0141199260715 Amper	Arus Phase	7258.493608022502 Amper	Arus Phase	5675.322853169054 Amper
Arus Phase	4713.3764931528785 Amper	Arus Phase	6756.22821852224 Amper	Arus Phase	5847.172436051177 Amper
Tegangan Phase	10.872289262532279 Kv	Tegangan Phase	11.098035902663993 Kv	Tegangan Phase	10.88622694648342 Kv
Tegangan Phase	10.884173621709031 Kv	Tegangan Phase	11.005552660444797 Kv	Tegangan Phase	10.880949542158953 Kv
Tegangan Phase	10.929967906906699 Kv	Tegangan Phase	10.901005265125962 Kv	Tegangan Phase	10.938794946891875 Kv
Pemuai Rotor	14.886245652339573 mm	Pemuai Rotor	14.98652271433406 mm	Pemuai Rotor	14.999517246377602 mm
Getaran Sumbu Y1	10.205626447233495 mic(P-P)	Getaran Sumbu Y1	8.866761401651477 mic(P-P)	Getaran Sumbu Y1	13.622561297185134 mic(P-P)
Getaran Sumbu X2	43.65845782901027 mic(P-P)	Getaran Sumbu X2	37.150512285822245 mic(P-P)	Getaran Sumbu X2	39.51123109256534 mic(P-P)
Getaran Sumbu Y2	7.455835772850633 mic(P-P)	Getaran Sumbu Y2	6.511244113535595 mic(P-P)	Getaran Sumbu Y2	11.000205400356055 mic(P-P)

a

b

c

Gambar 44 perbandingan nilai hasil keluaran dari pengujian datauji1(a), datauji2(b) dan datauji3(c) yang mengindikasikan kondisi parameter pemantauan rotor generator

Dari hasil pengujian dengan menggunakan model som-kohonen terlihat bahwa sesungguhnya nilai getaran dapat digunakan untuk mengetahui kondisi rotor generator dengan menampilkan keluaran berupa nilai parameter lainnya, dari hasil uji sesungguhnya nilai getaran yang melebihi nilai standar batas dipengaruhi oleh pemburukan hubungan beberapa parameter khususnya parameter faktor daya, tegangan dan arus eksitasi dan daya aktif reaktif. Seperti yang telah dibahas pada sub bab D.4.2 bahwa pemburukan faktor daya sangat mempengaruhi kenaikan daya reaktif dan arus eksitasi untuk mempertahankan magnetisasi pada kumparan rotor.

Hasil ujidata1 menunjukkan bahwa kondisi rotor generator dengan nilai getaran seperti ini masih berada dalam kondisi rotor yang baik ditinjau dari indeks penyimpangan tegangan dan arus eksitasi yang tidak melebihi batas standar nilai, tetapi jika ditinjau dari pemburukan nilai faktor daya sesungguhnya hasil pengujian dengan datauji1 memberikan nilai faktor daya yang berada dibawah nilai standar yang digunakan pada generator PLTU Tarahan yaitu bernilai 0.85, sedangkan dari hasil uji datauji1 bernilai 0.82.

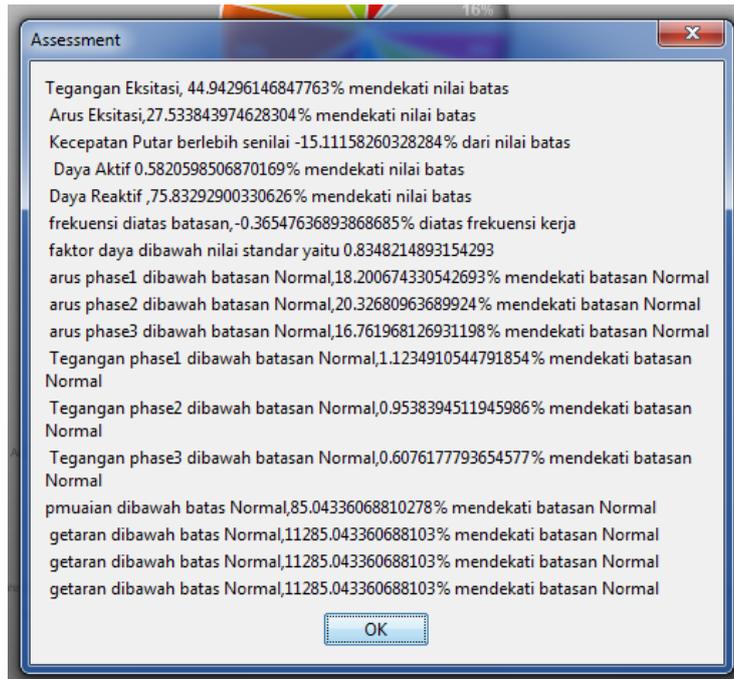
Sedangkan pada datauji2 dengan nilai getaran yang jauh melebihi batasan standar nilai getaran, didapatkan hasil uji bahwa terjadi pemburukan faktor daya yang diikuti kenaikan daya reaktif, tegangan dan arus eksitasi yang melebihi batasan. Dan dari chart pie tampak bahwa tegangan dan arus eksitasi memberikan kontribusi yang besar pada keseluruhan nilai parameter pada chart.

Pada pengujian dengan datauji3 dengan nilai yang beragam mulia dari nilai yang melebihi nilai batas dan bahkan berada dibawah jauh dari nilai batas memberikan hasil pengujian yang hamper sama dengan pengujian dengan pengujian datauji1 bahwa terjadi pemburukan faktor daya senilai 0.75 dari nilai batas faktor daya senilai 0.85 dan memberikan jarak atau indeks penyimpangan arus eksitasi dan daya reaktif yang mendekati batasan, sehingga pengujian datauji3 ini walaupun tidak menyebabkan arus dan tegangan eksitasi melebihi batas tetapi harus mendapatkan perhatian lebih sebagai *early warning* dari *catastrophic failure* rotor generator.

**F. PENGINDEKSAN DAN TOLAK UKUR INDIKASI
PENYIMPANGAN KONDISI ROTOR GENERATOR DENGAN
PENGUJIAN JARINGAN SARAF TIRUAN SOM-KOHONEN**

Pengindeksan dan tolak ukur (*benchmarking*) indikasi penyimpangan digunakan untuk mempermudah mengetahui tingkatan pergerakan penyimpangan kegagalan yang terjadi pada rotor generator dan juga untuk menentukan tindakan penanganan yang tepat sebelum kegagalan *catastrophic* benar-benar terjadi.

Pengindeksan pada penelitian ini dilakukan secara sederhana yaitu dengan mengkonversi ulang nilai hasil pengujian pembelajaran som-kohonen yang telah di standarisasi dan diubah ke dalam system per-unit menjadi ke satuan ukur sebenarnya dan hasil selisih dengan batasan satuan ukur sebenarnya yang dijadikan indek tingkatan penyimpangan yang ditampilkan pada hasil assessment pada antarmuka seperti pada gambar berikut:



Gambar 45 indeks penyimpangan yang ditampilkan pada hasil assessment

Persamaan yang digunakan dalam mendapatkan nilai indeks tingkat penyimpangan adalah sebagai berikut:

$$v = ((v^1 * devP) + meanP) * pu Base \quad (29)$$

$$v_i = \frac{pu Base - v}{pu Base} * 100\% \quad (30)$$

Dimana:

v = nilai pengujian som – kohonen satuan ukur parameter sesungguhnya

v^i = nilai pengujian som – kohonen dalam standarisasi – pu

v_i = nilai indesk

$devP$ = standar deviasi parameter

$pu Base$ = nilai maks parameter sebagai basis pengukuran

Dari gambar 44, nilai indeks penyimpangan merupakan indeks jarak kedekatan terhadap batasan parameter pengukuran sebenarnya, sehingga semakin kecil nilai indeks penyimpangan memberikan arti bahwa tingkatan penyimpangan semakin mendekati nilai batasan dan perlu diperhatikan sebagai peringatan dini dari kondisi rotor generator.

G. PEMBAHASAN

Dari hasil pembelajaran dan pengujian dengan menggunakan pemodelan jaringan saraf-tiruan som-kohonen yang diaplikasikan pada pemantauan kondisi rotor generator dengan menggunakan parameter getaran sebagai basis tinjauan utama ini, sesungguhnya nilai getaran dapat digunakan dalam melakukan assessment kondisi rotor generator dengan menghasilkan nilai keluaran yaitu kondisi parameter pemantauan lainnya.

Untuk menggunakan nilai getaran sebagai basis tinjauan utama pemantauan kondisi rotor generator yang menghasilkan nilai kondisi parameter lainnya sebagai nilai assessment terlebih dahulu nilai getaran dan nilai parameter rotor generator lainnya tersebut harus mengalami pembelajaran dengan menggunakan metode jaringan saraf tiruan som-kohonen, yaitu menggunakan kompetisi nilai bobot yang dijadikan nilai bobot pemenang dan kemudian menghasilkan nilai prototype yang dijadikan nilai clustering kondisi rotor generator, sehingga ketika menggunakan nilai getaran sebagai tinjauan utama menghasilkan nilai keluaran berupa nilai prototype yang didalamnya terdapat nilai kondisi parameter pemantauan lainnya.

Agar pemantauan kondisi dasar rotor generator berbasis getaran lebih *user-friendly* dan dapat digunakan dan dipahami oleh *end-user*, maka perlunya dibuat

pemodelan som-kohonen dengan menggunakan tampilan antarmuka, yang menerima masukan berupa nilai getaran dan menghasilkan nilai keluaran berupa kondisi dan tingkatan penyimpangan parameter pemantauan rotor generator, sehingga diharapkan mampu memberikan penanganan yang tepat, cepat dan bernilai ekonomis sehingga industry pembangkitan dapat terjaga.