

ANALISIS PENGARUH JADWAL PEMELIHARAAN TERHADAP KEANDALAN TRANSFORMATOR 80 MVA BERDASARKAN HASIL UJI TES DGA DAN TEGANGAN TEMBUS DENGAN METODE MARKOV (STUDI KASUS: INDUSTRI PELEBURAN BAJA PT XYZ)

Oleh:

Hanif Mufidah¹, Urip Mudjiono²

^{1,2}Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Keputih Sukolilo, Surabaya.60111

E-mail: urip.mujiiono1968@gmail.com

Abstrak, seringnya terjadi gangguan pada transformator utama di PT XYZ yang menyebabkan Terbakar dan Meledak, dalam jangka waktu yang berdekatan. Selain itu pada PT XYZ belum ada jadwal pemeliharaan khusus yang dikaitkan dengan kualitas (keandalan) transformator. Dan dalam kejadian berupa terbakarnya trafo di PT XYZ belum di temukan dan diidentifikasi penyebab terbakarnya trafo di PT XYZ.

Kata kunci: Jadwal pemeliharaan, transformator 80 Mva, tes DGA dan tegangan tembus, metode Markov

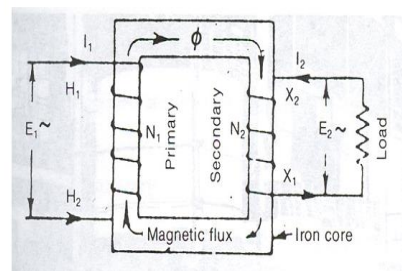
Energi listrik memegang peranan yang sangat penting di dalam menunjang segala aktivitas produksi di PT XYZ, sehingga penyaluran energi listrik diperlukan untuk mensuplai beban-beban yang ada. Transformator tenaga diperlukan dalam penyaluran energi listrik yang dapat mentransformasi tegangan dari satu level ke level lain. Gangguan sering terjadi pada internal transformator tenaga baik itu gangguan pada tahanan isolasi, tegangan tembus maupun pada kandungan gas terlarut di minyak transformator..

TEORI PENUNJANG Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi *faraday* dan hukum *lorentz* dalam menyalurkan daya.

Dari dua prinsip tersebut (Hukum induksi *faraday* dan hukum *lorentz*) didapatkan arus yang mengalir pada belitan

primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga didalam inti besi akan mengalir *flux* magnet dan *flux* magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial



Gambar 1 Prinsip Dasar dari Transformator.

Minyak Transformator

Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan-bahan organik, misalnya minyak *piranol* dan *silicon*. Dalam minyak transformator juga mengandung unsur atau senyawa hidrokarbon yaitu *parafinik*, *naftenik* dan *aromatic*. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan

pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda

Minyak isolasi pada transformator memiliki 4 fungsi penting dalam transformator yaitu berfungsi sebagai media isolasi, media pendingin, pelindung belitan dari oksidasi (dapat menimbulkan api/terbakar), dan melarutkan gas yang dihasilkan oleh degradasi minyak transformator.



Gambar 2 Minyak Transformator

Metode Markov

Metoda Markov adalah suatu teknik analitik yang mampu memasukkan komponen waktu perbaikan kedalam proses evaluasi keandalan sistem. Teknik ini menggunakan pendekatan peluang suatu kejadian dalam suatu waktu dimana kejadian masa lalu tidak mempunyai pengaruh pada masa yang akan datang bila masa sekarang diketahui. Hasil metode markov adalah karakteristik dari variable acak peluang suatu kejadian. Yaitu Keandalan dan Ketersediaan.

Proses markov pada rantai markov kontinyu, waktu transisi dijabarkan sebagai variable kontinyu yang menyatakan kondisi sistem saat waktu t.

Fungsi Laju Kegagalan

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Fungsi Keandalan

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$$

Dalam notasi matriks

$$[P'_o(t) P'_1(t)] = [P_o(t) P_1(t)] \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda \\ \mu & -\mu \end{bmatrix}$$

1. Keandalan (reliability)

Didefinisikan sebagai probabilitas dari suatu item untuk dapat melaksanakan fungsi yang telah ditetapkan, pada kondisi pengoperasian dan lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan.

2. Ketersediaan (availability)

Didefinisikan sebagai probabilitas untuk dapat menemukan suatu sistem (dengan berbagai kombinasi aspek-aspek keandalannya, kemampu-rawatan dan dukungan perawatan) untuk melakukan fungsi yang diperlukan pada suatu periode waktu tertentu.

FTA (Fault Tree Analysis)

Deskripsi (FTA) menurut (Guidelines For Hazard Evaluation Procedures) adalah suatu studi dengan teknik deduktif yang memfokuskan pada kejadian yang tidak diinginkan misalnya suatu kecelakaan tertentu dan kegagalan sistem, didalam FTA terdapat sebuah metode khusus untuk menentukan penyebab dari kejadian yang tidak diinginkan tersebut, yaitu dengan adanya suatu permodelan grafis dalam permodelan grafis akan menggunakan berbagai macam symbol yang menggambarkan berbagai kondisi.

Dalam melakukan analisa dan pengerjaan dengan menggunakan FTA ada beberapa tahapan berdasarkan (guidelines for hazard evaluation procedures) yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan masalah yang akan dianalisa dengan syarat *system failure*.
2. Membuat gambar konstruksi FTA yaitu dengan cara dari *top event*, kemudian ke *event* berikutnya sampai akhirnya ke *basic event*
3. Memberikan jawaban masalah FTA dengan cara menentukan *minimal cut set ranking*.

KARAKTERISTIK PENGUJIAN

Dissolved Gas Analysis

DGA adalah proses untuk menghitung kadar/nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan. Dari komposisi kadar/nilai gas-gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam trafo, apakah *overheat*, *arcing* atau *corona*.

Transformer Maintenance (3-30, 2000) menyebutkan, gas-gas yang dideteksi dari hasil pengujian DGA adalah Hidrogen (H₂), Metana (CH₄), Karbondioksida (C O₂), Etilen (C₂H₄), Asetilen (C₂H₂), Etane (C₂H₆). Gas-gas tersebut terlarut dalam minyak sebagai gas terlarut (*dissolved gas*) sehingga dapat menurunkan kualitas minyak dan pada gas-gas tersebut memiliki sifat mudah terbakar. Setelah terpisah antara gas dengan minyak, gas tersebut akan diuraikan kembali berdasarkan jenis gas nya dengan menggunakan metoda *chromatography*.

Analisis yang biasa digunakan dalam DGA dan gas kromatografi adalah analisis TDCG. Dengan mengetahui jumlah gas terlarut dalam minyak transformator mereferensikan angka tersebut pada ambang batas yang ditunjukkan pada tabel berikut ini.

S	Gas (ppm)							
	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	TDCG
K1	100	120	35	50	65	350	2500	720
K2	101-700	121-400	36-50	51-100	66-100	351-570	2500-4000	721-1920
K3	701-1800	401-1000	51-80	101-200	101-150	571-1400	4001-10000	1921-4630
K4	>1800	>1000	>80	>200	>150	>1400	>10000	>4630

Sumber: *Transformer Maintenance* 3-30 (2000)

Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan stres tegangan. Dengan kata lain pengujian ini dapat menjadi indikasi keberadaan

kontaminan seperti kadar air dan partikel. Rendahnya nilai tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan salah satu kontaminan tersebut dan tingginya tegangan tembus belum tentu juga mengindikasikan bebasnya minyak dari semua jenis kontaminan.

Dalam menganalisa nilai tegangan tembus PLN memiliki standar dalam menganalisa kondisi minyak transformator berdasarkan pengujian tegangan tembus. Berikut standar nilai yang digunakan PLN untuk menganalisa kondisi transformator berdasarkan pengujian tegangan tembus :

Kondisi				
1(kV/cm)	2(kV/cm)	3(kV/cm)	4(kV/cm)	5(kV/cm)
<74	58-74	46-58	<46	F

ANALISIS DATA

Pemodelan Markov

Untuk mengetahui batasan kondisi suatu minyak transformator PT XYZ menggunakan acuan IEEE yang membagi kondisi dalam beberapa kondisi mulai dari yang normal hingga yang terparah. Pada pemodelan markov kondisi dibagi dalam beberapa simbol antara lain :

- Kondisi 1 disimbolkan D1
- Kondisi 2 disimbolkan D2
- Kondisi 3 disimbolkan D3
- Kondisi 4 disimbolkan D4
- Kondisi terburuk disimbolkan F (Filter)

Pemodelan Markov Untuk Kurva Keandalan

Pemodelan untuk TDCG

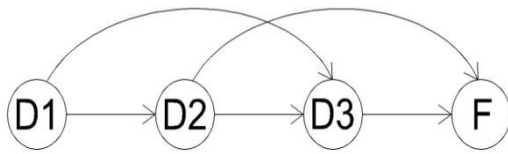
Sesuai persamaan laju kegagalan terhadap waktu yaitu:

$$\lambda (t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Di bawah ini adalah hasil perhitungan laju kegagalan (λ) untuk TDCG

Perubahan Kondisi	λ
1-2	0,0069
1-3	0,0128
3-F	0,0126
2-F	0,0192

Berdasarkan tabel diatas dapat dibuat pemodelan markov seperti gambar berikut



Pemodelan untuk Tegangan Tembus

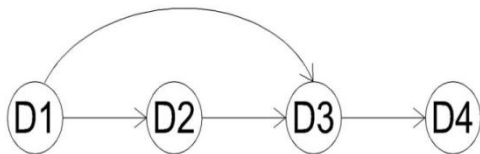
Sesuai persamaan laju kegagalan terhadap waktu yaitu:

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Di bawah ini adalah hasil perhitungan laju kegagalan (λ) untuk Tegangan Tembus

Perubahan Kondisi	λ
1-2	0,0023
1-3	0,0045
2-3	0,0051
3-4	0,0071

Berdasarkan tabel diatas dapat dibuat pemodelan markov seperti gambar berikut



Pemodelan Markov Untuk Kurva Ketersediaan

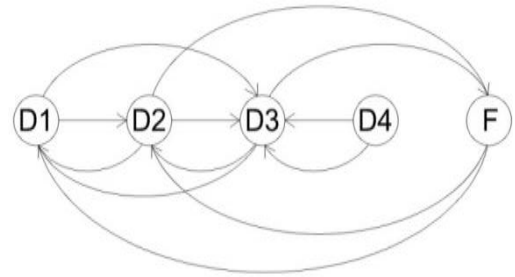
Pemodelan untuk TDCG

Untuk perhitungan μ sama seperti λ , beda dari μ dan λ adalah μ laju perbaikan sedangkan λ laju kegagalan.

Berikut data laju perubahan kondisi TDCG untuk kurva keandalan

Perubahan Kondisi	λ	Perubahan Kondisi	μ
1-2	0,0069	2-1	0,0147
1-3	0,0128	3-1	0,0063
3-F	0,0126	4-3	0,0232
2-F	0,0192	F-2	0,0074
3-4	0,0056	F-1	0,0060
2-3	0,5	3-2	1

Berdasarkan tabel diatas dapat dibuat pemodelan markov seperti gambar berikut

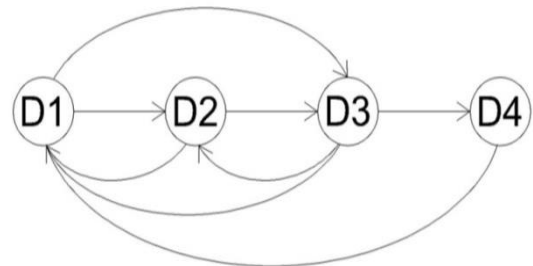


Pemodelan untuk Tegangan Tembus

Data laju perubahan kondisi TDCG untuk kurva keandalan

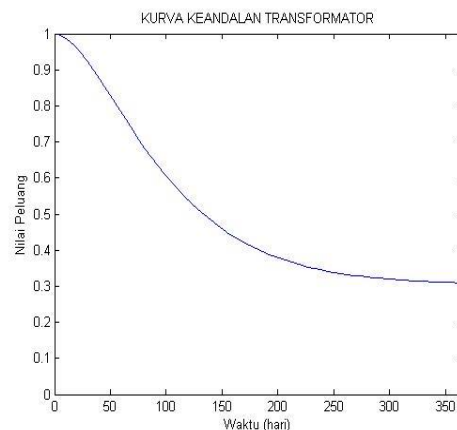
Perubahan Kondisi	λ	Perubahan Kondisi	μ
1-2	0,0023	2-1	0,0232
1-3	0,0045	3-1	0,0086
2-3	0,0051	4-1	0,0051
3-4	0,0071	3-2	0,0092

Berdasarkan tabel di atas dapat dibuat pemodelan markov seperti gambar berikut



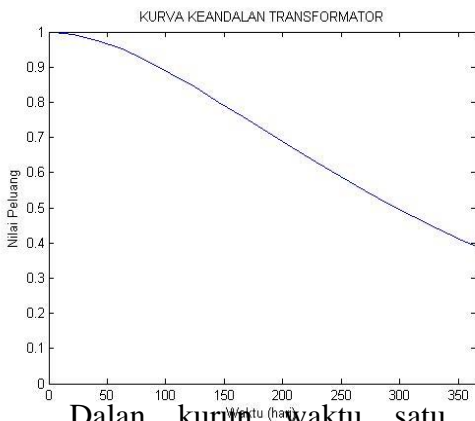
Hasil Analisis Program Komputer Untuk Kurva Keandalan

Kurva Keandalan TDCG



Dalam kurun waktu satu bulan ke depan setelah transformator dioperasikan dari kondisi perbaikan adalah 0,92. Sedangkan bila transformator bertahan hingga 1 tahun atau 365 hari lagi, maka keandalan transformator akan menurun hingga 0,31. Berdasarkan data lapangan yang telah diambil terdapat 2 buah transformator dengan kapasitas 150/70kV. Sehingga dari jumlah tersebut dapat diketahui bahwa jumlah transformator yang diprediksi mengalami kerusakan setelah satu bulan adalah $(1 - 0,92) \times 2 = 0,16$ buah. Dan jumlah transformator yang diprediksi mengalami kerusakan setelah 1 tahun adalah $(1 - 0,31) \times 2 = 1,38$ buah. Artinya terdapat 1 buah transformator akan mengalami kerusakan. Kemudian prosentase penurunan keandalan mencapai $(0,92 - 0,31)/0,92 \times 100\% = 66,30\%$.

Kurva Keandalan Tegangan Tembus

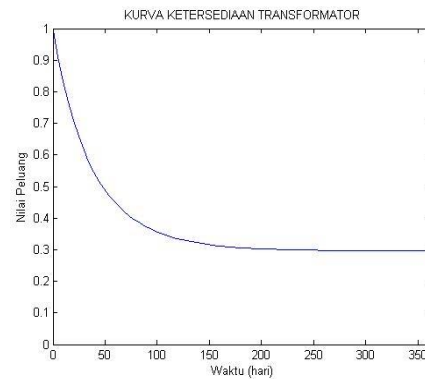


Dalam kurun waktu satu bulan kedepan setelah transformator dioperasikan dari kondisi perbaikan adalah 0,99. Sedangkan bila transformator bertahan hingga 1 tahun atau 365 hari lagi, maka keandalan transformator akan menurun hingga 0,39.

Berdasarkan data lapangan yang telah diambil terdapat 2 buah transformator dengan kapasitas 150/70kV. Sehingga dari jumlah tersebut dapat diketahui bahwa jumlah transformator yang diprediksi mengalami kerusakan setelah satu bulan adalah $(1 - 0,99) \times 2 = 0,02$ buah. Dan jumlah transformator yang diprediksi

mengalami kerusakan setelah 1 tahun adalah $(1 - 0,39) \times 2 = 1,22$ buah. Artinya terdapat 1 buah transformator akan mengalami kerusakan. Kemudian prosentase penurunan keandalan mencapai $(0,99 - 0,39)/0,99 \times 100\% = 60,60\%$.

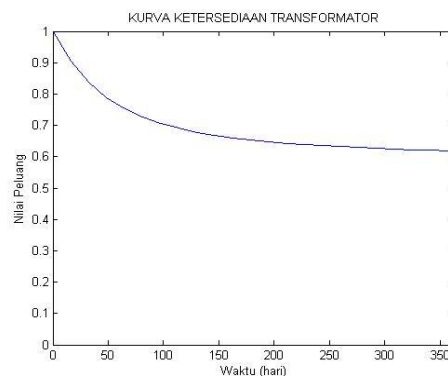
Hasil Analisis Program Komputer Untuk Kurva Ketersediaan Kurva Ketersediaan TDCG



Kondisi baik yang terdiri dari D1, D2, dan D3 adalah, kondisi D1 $0,2962 \times 365$ hari sama dengan 108,113 hari, nilai frekuensi terjadinya kondisi D2 selama 1 tahun adalah $0,1986 \times 365$ hari sama dengan 72,489 hari dan nilai frekuensi terjadinya kondisi D3 selama 1 tahun adalah $0,1012 \times 365$ hari sama dengan 36,938 hari.

Sedangkan untuk kondisi buruk terdiri dari D4 adalah, D4 adalah $0,0244 \times 365$ hari sama dengan 8,906 hari, sedangkan nilai frekuensi terjadinya kondisi F selama 1 tahun adalah $0,3797 \times 365$ hari sama dengan 138,59 hari. Kondisi D4 dan F ini merupakan kondisi yang sangat buruk pada transformator dan harus segera dilakukan tindakan perbaikan.

Kurva Ketersediaan Tegangan Tembus



Kondisi baik yang terdiri dari D1, D2, dan D3 adalah, kondisi D1 0,6039 x 365 hari sama dengan 220,4235 hari, nilai frekuensi terjadinya kondisi D2 selama 1 tahun adalah 0,0906 x 365 hari sama dengan 33,069 hari dan nilai frekuensi terjadinya kondisi D3 selama 1 tahun adalah 0,1277 x 365 hari sama dengan 46,6105 hari.

Sedangkan untuk kondisi kurang baik terdiri dari D4 adalah, D4 adalah 0,1778 x 365 hari sama dengan 64,897 hari. Kondisi D4 ini merupakan kondisi yang cukup buruk pada transformator dan harus segera dilakukan tindakan perbaikan.

Pengaruh Penjadwalan Pemeliharaan Terhadap Nilai Keandalan

Untuk melihat pengaruh perubahan dalam penjadwalan pemeliharaan, dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai keandalan. Nilai standar penjadwalan pemeliharaan yang digunakan sebagai acuan adalah 1 tahunan atau 100% yang diambil berdasarkan nilai data TDCG dan Tegangan tembus. Terdapat dua asumsi yang dilakukan pada simulasi yaitu penundaan jadwal pemeliharaan dan percepatan jadwal pemeliharaan. hadap Nilai Keandalan.

a. Penundaan Jadwal Pemeliharaan

- 25% : 1 Tahun 3 Bulanan
- 50% : 1 Tahun 6 Bulanan

b. Percepatan Jadwal Pemeliharaan

- 25% : 9 Bulanan
- 50% : 6 Bulanan

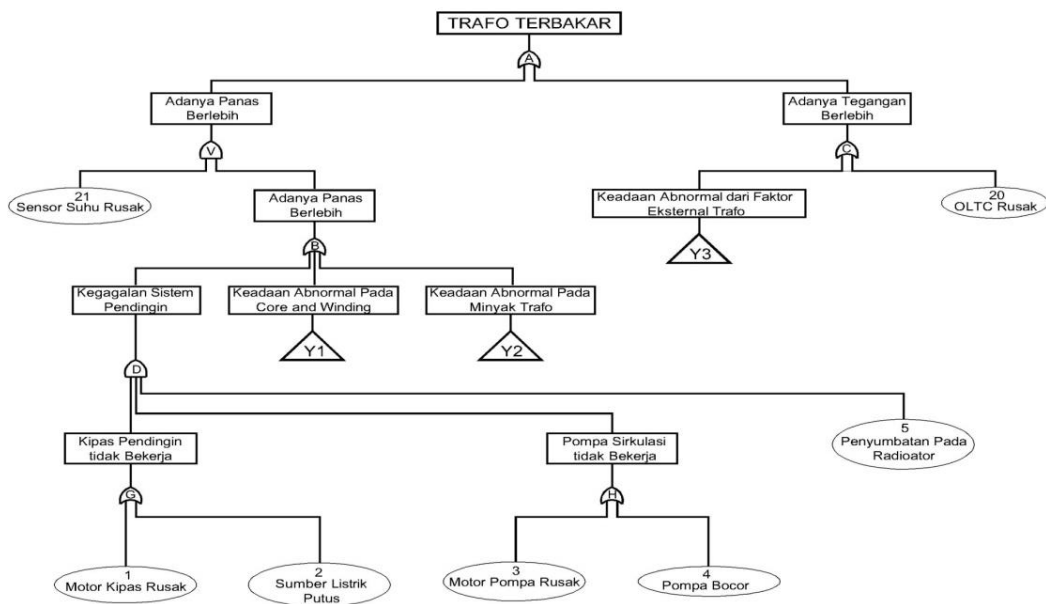
Sedangkan nilai-nilai yang didapatkan pada kasus perubahan penjadwalan dengan asumsi-asumsi nilai penjadwalan yang telah disebutkan sebelumnya, dapat disimpulkan pada tabel berikut:

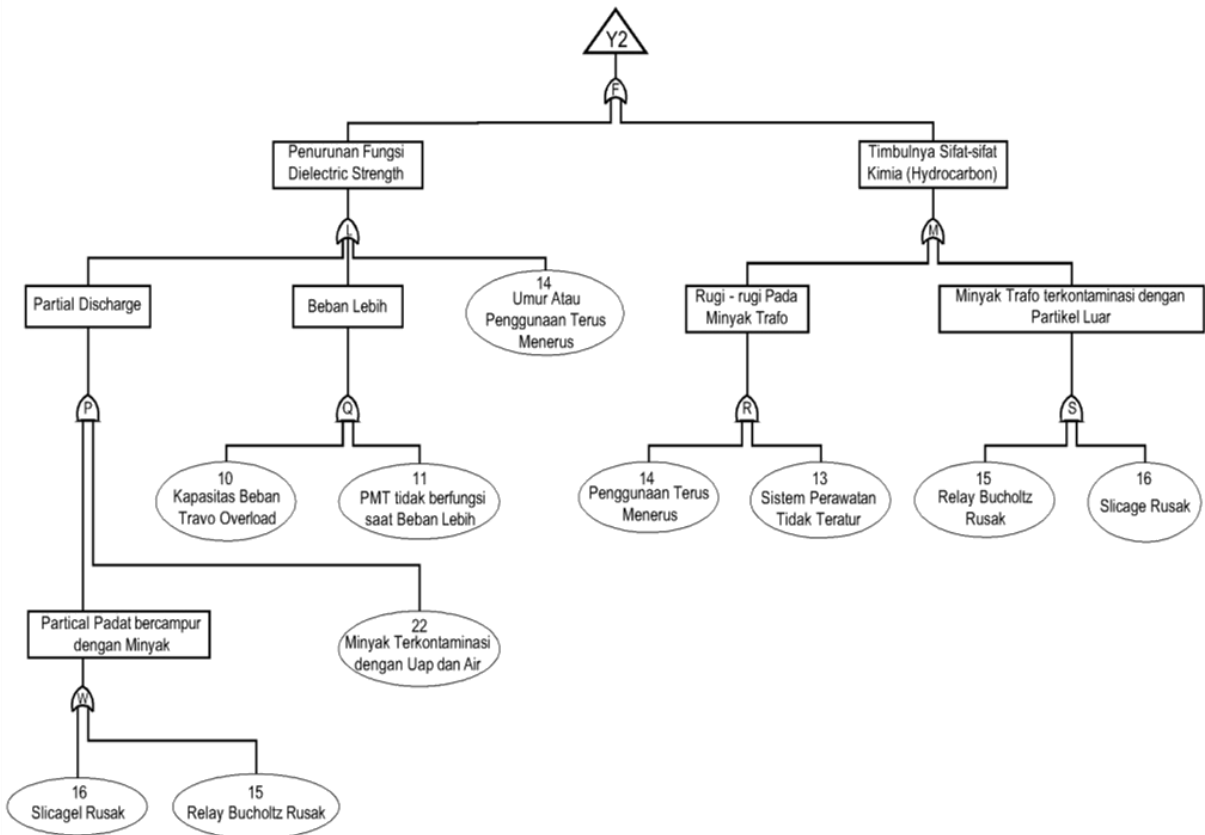
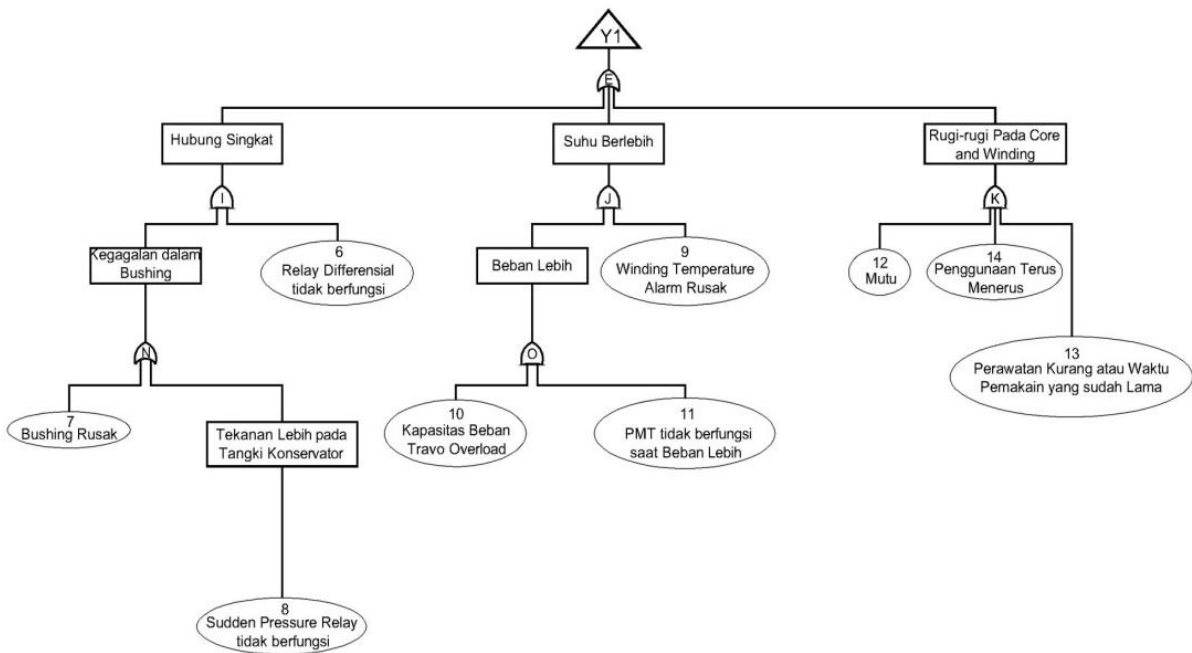
Parameter	Jadwal Pemeliharaan	Nilai Keandalan
DGA berdasarkan TDCG	1,5 tahun	0,29
	1 tahun 3 bulan	0,30
	9 bulan	0,32
	6 bulan	0,34
Tegangan Tembus	1,5 tahun	0,08
	1 tahun 3 bulan	0,24
	9 bulan	0,51
	6 bulan	0,70

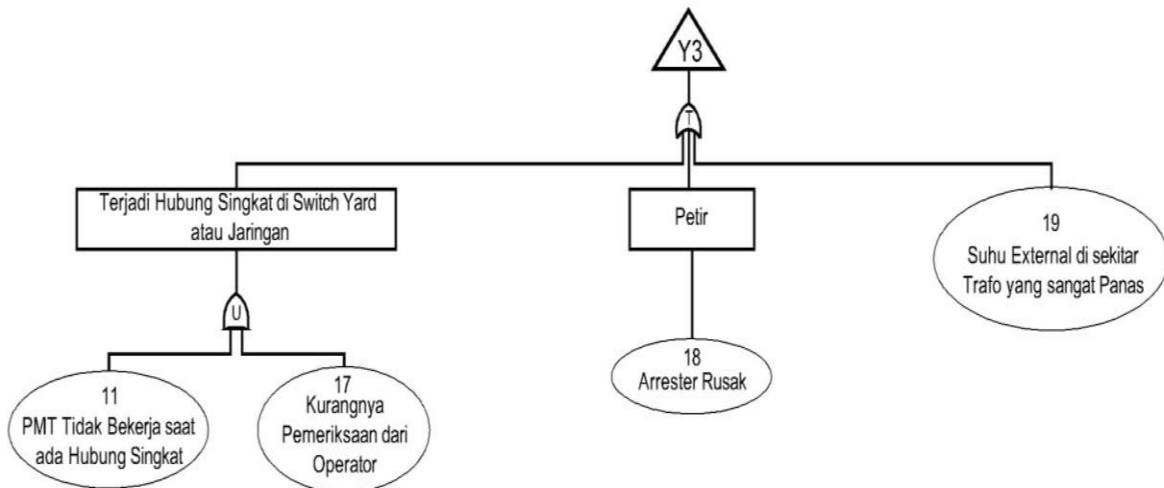
Analisis Fault Tree Analysis (FTA)

Pengkonstruksian FTA

Pengkonstruksian FTA digunakan untuk mengidentifikasi terjadinya *top event*/kejadian puncak berupa “Terbakarnya Trafo”, kemudian dicari penyebab-penyebab munculnya *top event* yang bermula dari terjadinya *basic event*/kejadian dasar. Berikut disajikan konstruksi FTA dari terbakarnya trafo ;







Analisis Minimal Cut Set

Setelah melakukan pengkonstruksian FTA didapatkan 11 *minimal cut set*, yang berarti ada 11 penyebab *top event* bisa terjadi.

I	1,3,5,21
II	2,4,5,21
III	7,6,21
IV	8,6,21
V	10,11,9,21
VI	12,13,14,21
VII	16,22
VIII	15,22
IX	11,17,20
X	18,20
XI	19,20

PENUTUP

Kesimpulan

Nilai keandalan transformator berdasarkan nilai TDCG jika beroperasi selama 30 hari didapatkan nilai keandalan transformator sebesar 0,92, dibandingkan dengan nilai keandalan selama 30 hari yaitu sebesar 0,31 menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai keandalan sebesar ± 8% tiap bulannya. Sedangkan berdasarkan nilai tegangan tembus nilai keandalan transformator jika beroperasi selama 30 hari sebesar 0,99, dibandingkan dengan nilai keandalan selama 1 tahun yaitu sebesar 0,39

menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai keandalan sebesar ± 5% tiap bulannya.

Nilai ketersediaan transformator berdasarkan nilai TDCG dalam kondisi baik dari semua gas mendekati 216 hari, dan kondisi kurang baik adalah 147 hari. Sedangkan berdasarkan nilai tegangan tembus nilai ketersediaan transformator dalam kondisi baik dari semua gas mendekati 299 hari, dan kondisi kurang baik adalah 64 hari.

Saran

Dari analisa yang telah dilakukan, jika terjadi penundaan waktu penjadwalan pemeliharaan dari standar penjadwalan yang telah ditentukan maka nilai keandalan suatu transformator akan mengalami penurunan. Sedangkan jika terjadi percepatan waktu penjadwalan pemeliharaan maka nilai keandalan transformator akan mengalami kenaikan. Dari analisa didapatkan waktu penjadwalan yang bisa dijadikan acuan PT XYZ agar transformator tidak cepat mengalami kerusakan dan biaya yang digunakan tidak terlalu besar adalah penjadwalan 9 bulanan, karena didapatkan kenaikan nilai keandalan yang cukup tinggi yaitu untuk parameter TDCG terjadi kenaikan keandalan sebesar 3,2% sedangkan untuk parameter tegangan tembus sebesar 30,7%.

Dari analisa FTA dapat disimpulkan jenis kejadian dasar yang dapat menyebabkan timbulnya kejadian puncak yang berupa terbakarnya trafo adalah pada alat pengaman berupa relai dan alarm, khususnya pengaman berupa sensor suhu,

sehingga PT XYZ harus lebih memperhatikan unjuk kerja dari alat-alat pengaman pada transformator baik dalam maintenance dan pemeriksaan berkala sesuai *standart* PLN.

DAFTAR PUSTAKA

- (n.d.).H., I. G. (2005). Tesis Magister. *Analisis Penjadwalan perawatan transformator daya dengan pemodelan markov* .
- Ir.Dwi Priyanta, M. *KEANDALAN DAN PERAWATAN*. Surabaya: FTK-ITS. Ketutbuda. *Bab 1 Rantai Markov Diskrit (Discrete Markov Chain)*.
- Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga*. (2003). PT PLN (Persero) P3B.
- Teguh Widiarsono, M. (Oktober,2005). *Tutorial Praktis BELAJAR MATLAB*. Jakarta.
- Transformer Diagnostics*. (2003). Bureau: United States Departement Of the Interior.
- Transformer Diagnostics*. (Juni 2003). Bureau: United States Departement Of the Interior.
- Transformer Maintenance*. (Oktober 2000). Denver,Colorado: United States Departement of The Interior.
- Transmisi-TNG-Jilid-1-bab-3*. (n.d.). Retrieved maret selasa, 2014, from https://www.google.co.id/?gws_rd=cr,ssl&ei=U3qgU_mUAsSjugSetYGgCg#q=transmisi+tenaga+bab+3.pdf.
- W.E. VESELLY, F.F. Goldberg, N.H. Roberts, D.F.Haasl. (January 1981). *Fault Tree Handbook*. Washington, D.C.: System and Reliabilty Research Office of Nuclear Regulatory Research.
- Wulandari, D. (2010). *Studi Analisis Penjadwalan Pemeliharaan Transformator Daya 150 KV di PT.PLN (Persero) P3B Jawa Bali Berdasarkan Prediksi Karakteristik Minyak Transformator*. Surabaya: FTI-ITS.
- Ketutbuda, “Bab 1 Pendahuluan Konteks Keandalan”.
- Ketutbuda, “*Rantai Markov Diskrit (Discrete Markov Chain)*”.*Guidelines For Hazard Evaluation Procedures*