

DESIGN RANGKAIAN SERIAL KONTAK ALARM DAN KONTAK TRIP PADA PROTEKSI TEMPERATUR TRANSFORMATOR 2 – 30 MVA Gardu Induk Blora

Adityakta Nugraha, Dedi Nugroho, Eka Nuryanto Budi Susila
Department of Electrical Engineering, Universitas Islam Sultan Agung

Abstract

Pada gardu induk terdapat transformator tenaga yang berfungsi menurunkan tegangan tinggi ke tegangan menengah. Transformator tenaga memiliki sistem proteksi berupa relai elektrik dan mekanik sebagai pengaman pada transformator. Salah satu proteksi mekanik transformator tenaga yaitu proteksi temperatur dengan pengaman berupa relai termal yang kerjanya dipengaruhi suhu minyak maupun suhu belitan. Pada proteksi termal ini memiliki potensi yang cukup tinggi terhadap gangguan nonsistem bay trafo. Maka dilakukan modifikasi rangkaian alarm dan trip pada relai termal untuk mencegah terjadinya gangguan nonsistem bay trafo. Tugas akhir ini membahas mengenai modifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi temperatur Transformator 2 Gardu Induk Blora dengan penambahan auxiliary relay untuk mengamankan jalur tripping. Penambahan auxiliary relay tersebut dimaksudkan untuk memutuskan arus yang menuju ke jalur tripping agar tidak mengerjakan kontak trip apabila terjadi short terminal maupun kerusakan ada relai bantu. Dalam penerapannya modifikasi ini memiliki manfaat dari segi finansial terkait keefektifan biaya apabila terjadi gangguan dan dari segi non finansial dapat mengurangi potensi gangguan pada transformator akibat gangguan nonsistem bay trafo, serta dapat menambah keandalan transformator dalam menyalurkan energi listrik..

Keywords :Modifikasi, Relai Termal, Transformator, Gangguan Nonsistem.

1. PENDAHULUAN

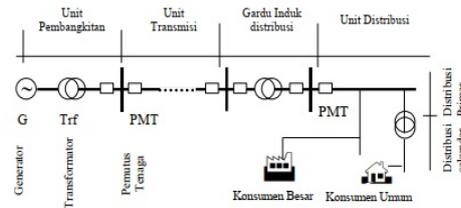
Salah satu proteksi sistem tenaga listrik yang dibutuhkan untuk menjaga keandalan dalam penyaluran energi listrik yaitu proteksi pada transformator tenaga. Transformator tenaga sendiri merupakan komponen utama dalam penyaluran energi listrik yang harus bekerja secara terus-menerus. Mengingat kerja keras transformator yang hampir kontinu maka pengoperasiannya perlu diperhatikan.

Seiring berjalannya waktu di Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah (UITJBT) terjadi 8 kali gangguan nonsistem transformator pada tahun 2016 sampai 2019 yang diakibatkan wiring Oil Thermal Indicator (OTI) dan Winding Thermal Indicator (WTI). Gangguan ini disebut gangguan *Non System Fault* (NSF) bay trafo di mana PMT trip tanpa adanya alarm terlebih dahulu, sehingga menimbulkan adanya inovasi untuk memodifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi temperatur transformator. Untuk wilayah ULTG Rembang sendiri pada tanggal 22 Februari 2019 juga terjadi gangguan NSF bay trafo di Gardu Induk 150 kV Blora. Oleh karena itu, dilakukan modifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi transformator yang dimaksudkan untuk mengurangi maupun mencegah terjadinya gangguan pada transformator yang dapat mengakibatkan kerugian finansial bagi perusahaan maupun pelanggan.

Secara umum sistem tenaga listrik dapat dikatakan terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

- a. Pembangkit tenaga listrik,
- b. Penyaluran tenaga listrik
- c. Distribusi tenaga listrik.

Sistem tenaga listrik modern seperti terlihat pada Gambar di bawah.



Gambar 1. Diagram Satu Garis Sistem Tenaga Listrik

Tenaga Listrik dibangkitkan di Pusat-pusat Tenaga Listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (*step up transformer*) yang ada di Pusat Listrik. Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan gardu induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standar tegangan tinggi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (*step down transformer*) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer.

Sistem Transmisi Tenaga Listrik

Sistem transmisi merupakan sistem yang berfungsi untuk mengalirkan energi listrik dari pembangkit ke gardu listrik utama (main substation). Berikut merupakan bagian dari sistem transmisi tenaga listrik yaitu Saluran Transmisi, Gardu Induk, dan Sistem Proteksi. Ketiga bagian tersebut memiliki peranannya masing-masing untuk menyalurkan energi listrik secara andal menuju ke sistem distribusi tenaga listrik. (Joko Pramono, 2010)

a. Saluran Transmisi

1. Saluran Udara (*Overhead Lines*)
2. Saluran kabel bawah tanah (*Underground Cable*)
3. Saluran Isolasi Gas

b. Gardu Induk

Berikut merupakan peralatan-peralatan pada Gardu Induk:

1. Busbar atau Rel
2. Lightning Arrester
3. Transformator instrument atau Transformator ukur
4. Sakelar Pemisah (PMS) atau Disconnecting Switch (DS)
5. Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB)
6. Sakelar Pentanahan
7. Peralatan SCADA dan Telekomunikasi, (*Supervisory Control And Data Acquisition*)
8. Rele Proteksi

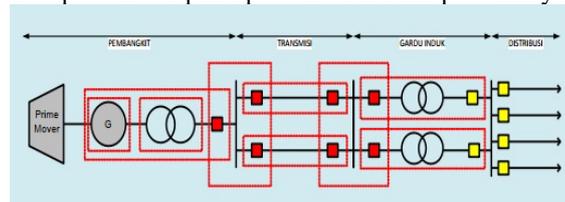
c. Sistem Proteksi

Sistem proteksi adalah pengaturan dari satu atau lebih peralatan proteksi, dan peralatan lain yang dimaksudkan untuk melakukan satu atau lebih fungsi proteksi tertentu. Suatu sistem proteksi yang terdiri dari satu atau lebih peralatan proteksi, transformator pengukuran, pengawatan, rangkaian tripping, catu daya dan sistem komunikasi bila tersedia. (PT. PLN (Persero), 2014d)

Tujuan utama sistem proteksi adalah sebagai berikut :

1. Mendeteksi kondisi abnormal pada sistem tenaga listrik
2. Memerintahkan trip pada PMT dan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem yang sehat, sehingga sistem dapat terus berfungsi.

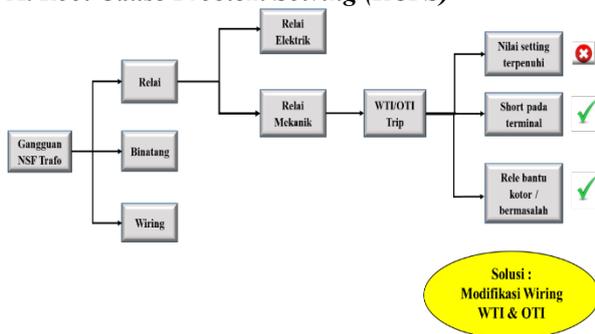
Untuk membatasi luasnya sistem tenaga listrik yang terputus saat terjadi gangguan, maka sistem proteksi dibagi dalam zona-zona proteksi. Pada zona perbatasan, zona proteksi harus tumpang tindih (*overlap*) sehingga tidak ada bagian dari sistem yang tidak terproteksi. Tipikal proteksi dan zona proteksinya ditunjukkan seperti Gambar 2.



Gambar 2. Zona Proteksi

2. METODE PENELITIAN

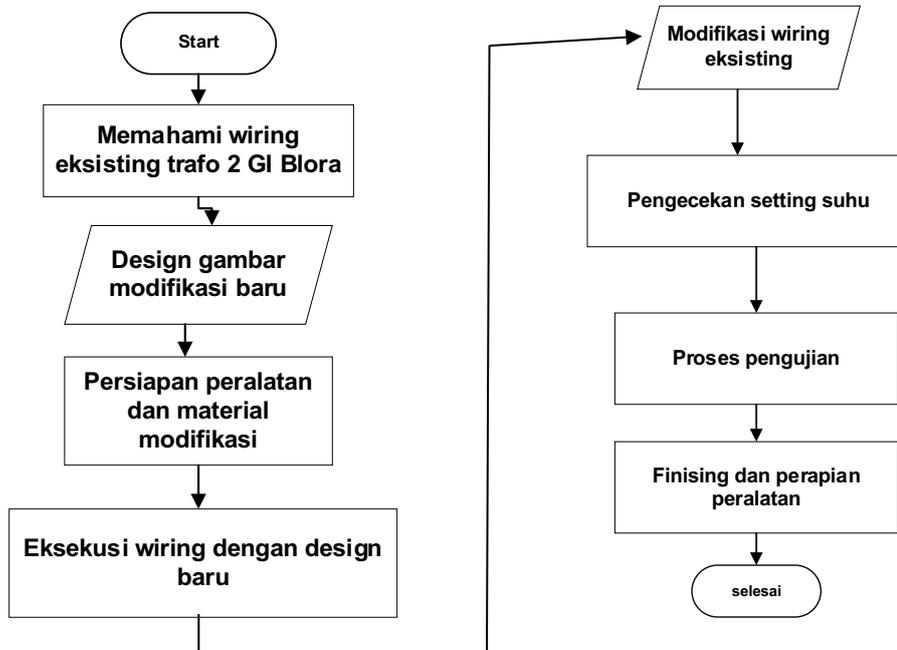
A. Root Cause Problem Solving (RCPS)



Gambar 3. Bagan RCPS (Root Cause Problem Solving)

Model dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah dengan melakukan modifikasi wiring pada Trafo 2 Gardu Induk Blora. Gardu Induk Blora merupakan salah satu gardu induk di wilayah ULTG Rembang dengan tegangan kerja 150 kV.

B. Flowchart Penelitian



Dari serangkaian tahapan di atas proses modifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi temperatur dapat dijabarkan sebagai berikut:

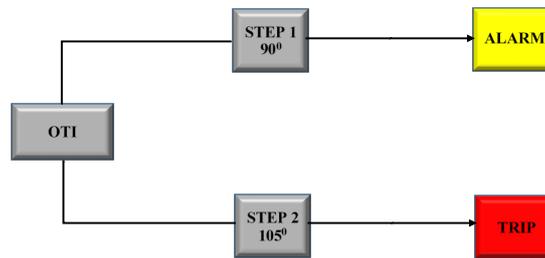
1. Memahami *wiring* eksisting *Bay* Trafo 2 Gardu Induk Blora
2. Desain gambar modifikasi baru
3. Eksekusi *wiring* modifikasi baru
4. Penggantian terminal relai mekanik pada *box* trafo
5. Pengecekan *setting* suhu
6. Proses Pengujian.

3. HASIL DAN ANALISA

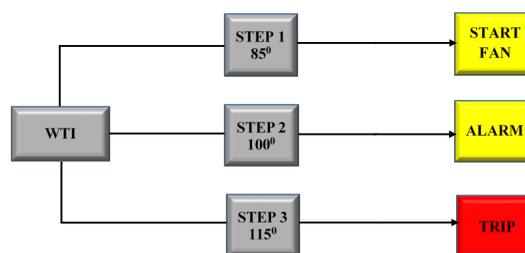
Setelah dilakukan modifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi temperatur Transformator 2 30 MVA Gardu Induk 150 kV Blora diharapkan dapat mencapai tujuan *five zero* yaitu *zero accident*, *zero NSF*, *zero breakdown*, *zero anomaly*, dan *zero mistake*. Sehingga transformator tersebut tetap stabil dan dapat terjaga keandalannya.

3.1 Prinsip Kerja Rangkaian Sebelum Modifikasi

Kerja relai termal sebelum modifikasi yaitu kontak relai bekerja sesuai *setting* suhunya pada saat kondisi normal.

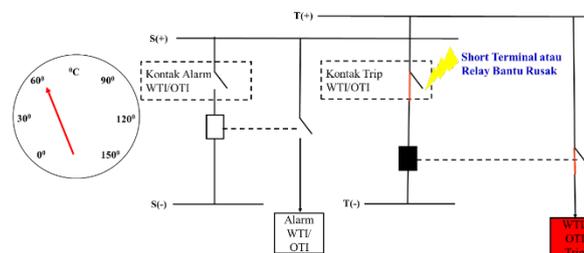


Gambar 4. Rangkaian *Logic* OTI Sebelum Modifikasi



Gambar 5. Rangkaian *Logic* WTI Sebelum Modifikasi

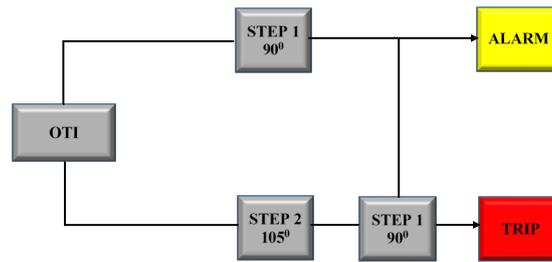
Pada saat terjadi gangguan *Non System Fault* (NSF) karena *short* terminal atau relai bantu rusak pada arah *tripping* maka kontak relai tersebut akan bekerja tanpa mengerjakan kontak alarm terlebih dahulu. Hal ini karena kontak *tripping* sudah mendapat *common* positif dan tidak ada kontak yang memutus arus, sehingga kontak trip tersebut mentrigger PMT untuk trip. Dari uraian tersebut dapat dilihat prinsip kerja rangkaian sebelum modifikasi pada Gambar 12.



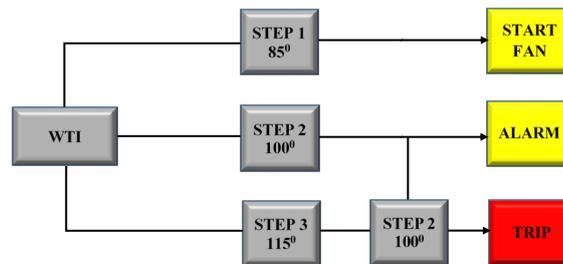
Gambar 6. Prinsip Kerja Relai Termal Sebelum Modifikasi

3.2. Prinsip Kerja Setelah Modifikasi

Pada rangkaian alarm dan trip relai OTI/WTI setelah dimodifikasi yaitu terdapat tambahan kontak dari relai bantu untuk memutus arus saat terjadi gangguan *Non System Fault* (NSF) sekaligus menjadi pengamanan pada jalur *tripping*. Pada kondisi normal atau bekerja sesuai *setting* suhu, syarat sebelum terjadi trip PMT harus muncul atau melewati alarm terlebih dahulu. Rangkaian *logic* pada relai OTI dan WTI setelah dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 7 & 8.



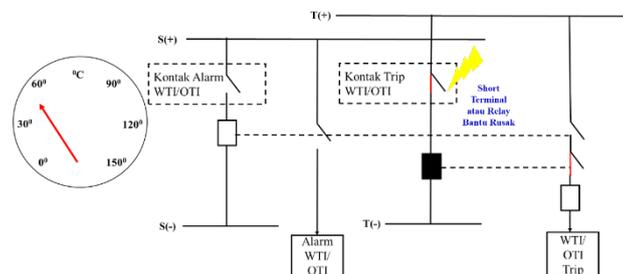
Gambar 7. Rangkaian *Logic* OTI Setelah Modifikasi



Gambar 8. Rangkaian *Logic* WTI Setelah Modifikasi

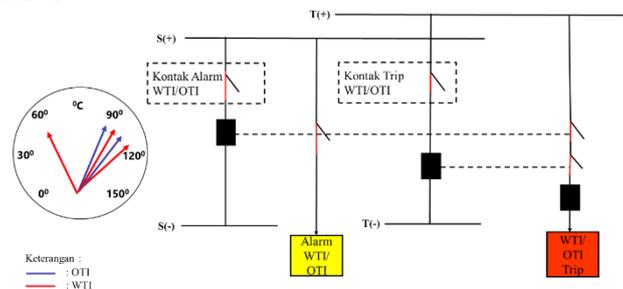
Dari uraian cara kerja relai termal setelah dimodifikasi memiliki prinsip kerja rangkaian alarm dan trip sebagai berikut:

1. Kontak relai *Oil Thermal Indicator* (OTI) trip bekerja jika terjadi kondisi OTI alarm dan OTI trip secara bersamaan.
2. Kontak relai *Winding Thermal Indicator* (WTI) trip bekerja jika terjadi kondisi WTI alarm dan WTI trip secara bersamaan.
3. Jika terjadi kontak relai *Oil Thermal Indicator* (OTI) dan *Winding Thermal Indicator* (WTI) untuk fungsi trip bekerja tidak bersamaan dengan OTI dan WTI alarm, serta tidak melalui *setting* suhu yang telah ditetapkan atau suhu dalam kondisi normal maka akan terputus arusnya oleh *auxiliary relay* yang ditambahkan. Prinsip kerja rangkaian tersebut dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Prinsip Kerja Relai Termal Setelah Modifikasi Saat Suhu Normal

4. Jika relai relai *Oil Thermal Indicator* (OTI) dan *Winding Thermal Indicator* (WTI) bekerja pada kondisi normal sesuai *setting* suhunya, maka sebelum trip akan terjadi alarm terlebih dahulu. Prinsip kerja rangkaian dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 10. Prinsip Kerja Relai Termal Setelah Modifikasi

3.3 Manfaat

- 1) Manfaat Finansial Modifikasi, *wiring* WTI dan OTI yaitu efisiensi biaya karena meminimalisir adanya gangguan dan mencegah pemadaman *bay* trafo sehingga pelayanan pelanggan lebih maksimal. Manfaat dapat dihitung melalui perhitungan ENS (*Energy Not Supplied*) sebagai indeks keandalan yang menyatakan jumlah energi yang tidak dapat disalurkan oleh sistem kepada pelanggan selama periode satu tahun. Secara sistematis rumus perhitungan dapat dituliskan sebagai berikut

$$ENS = \Sigma [\text{Daya Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (h)}] \quad (3)$$

Manfaat finansial dapat dilihat dari asumsi perhitungan sebagai berikut:

1. Jika Transformator 2 30 MVA Gardu Induk Blora trip, dengan diasumsikan perhitungan beban rata-rata/hari = 15,9 MW (diambil dari rata-rata data beban tertinggi pada laporan perusahaan tahun 2021)
2. Waktu pemadaman *Bay* Transformator 2 berlangsung selama 1 jam.
3. Biaya modifikasi sesuai dengan Tabel 1 yaitu sebesar Rp4.900.000,-

Tabel 1. Daftar Biaya Modifikasi

No	Materi al	Jumlah	Harga (Rp.)	Sub Total (Rp.)
1	Aux Relay	6 Bh	600.000	3.600.000
2	Skun I (2,5 mm)	1 Pak	50.000	50.000
3	Skun Y (2,5 mm)	1 Pak	50.000	50.000
4	NYAF 1,5 mm ²	50 m	8.000	400.000
5	Terminal blade (2.5 mm)	20 Bh	40.000	800.000
Harga Total				4.900.000

Sumber : PT PLN (Persero) ULTG Rembang

4. Tarif per kWh Rp1300 sesuai dengan tarif dasar listrik atau harga listrik per kWh.

$$= \Sigma [\text{Daya Gangguan (kW)} \times \text{Durasi (h)}]$$

$$= 15.900 \text{ kW} \times 1 \text{ jam}$$

$$= 15.900 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Total kerugian (Rp)} &= \text{ENS} \times 1300 \text{ Rp/kwh} \\ &= 15.900 \text{ kWh} \times 1300 \text{ Rp/kwh} \\ &= \text{Rp}20.670.000,- \end{aligned}$$

Total efisiensi 1x gangguan dapat diperoleh dari:

$$\begin{aligned} \text{Kerugian (Rp)} - \text{Biaya modifikasi} \\ &= \text{Rp}20.670.000 - \text{Rp} 4.900.000 \\ &= \text{Rp}15.770.000,- \end{aligned}$$

Jadi dari perhitungan di atas dapat dikatakan bahwa perusahaan dapat meminimalisir pengeluaran ketika terjadi 1x gangguan sebesar Rp15.770.000,-

2) Manfaat non finansial

Modifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi temperatur transformator 2 30 MVA Gardu Induk 150 kV Blora selain memberikan manfaat secara finansial, terdapat juga manfaat non finansial dari pengaplikasian tersebut antara lain:

- a. Meningkatkan kinerja unit TROD dan TROF
- b. Meningkatkan mutu pelayanan pelanggan.
- c. Mendukung pola GITO, yaitu Gardu Induk Tanpa Operator.

4. KESIMPULAN

Modifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi temperatur Transformator 2 30 MVA Gardu Induk 150 kV Blora dilakukan dengan cara menambahkan *Auxiliary Relay* yang memiliki tujuan sebagai pengaman jalur *tripping* untuk mencegah gangguan *non system fault* (NSF). Modifikasi rangkaian alarm dan trip pada proteksi temperatur transformator memiliki manfaat finansial yang diperoleh yaitu efektif biaya karena mencegah pemadaman Untuk manfaat non finansial yang diperoleh yaitu meningkatkan kinerja unit TROD dan TROF.

DAFTAR PUSTAKA

1. Joko Pramono. (2010). *MAKALAH Teknik Tenaga Listrik Transmission of Electrical Energy (Transmisi Tenaga Listrik)*.
2. Karyana. (2013). *Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*.
3. Kunto Wibowo, W., Yuningtyastuti, I., & Syakur, A. (n.d.). *ANALISIS KARAKTERISTIK BREAKDOWN VOLTAGE PADA DIELEKTRIK MINYAK SHELL DIALA B PADA SUHU 30 0 C-130 0 C*.
4. Marsudi, D. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*.
5. nur sulistyawati, S. T. , M. T. (2021). D3-2021-426332-abstract. *Analisis Pengujian Relay Suhu Pada Relay Mekanik Trafo Tenaga Di Gardu Induk 150 Kv Garut*.
6. PT. PLN (Persero). (n.d.). kepdir 520 buku pedoman pemeliharaan CT. *Buku Pedoman Trafo Arus*.
7. PT. PLN (Persero). (2014a). kepdir 520 buku pedoman pemeliharaanLA. *Buku Pedoman Lightning Arrester*.
8. PT. PLN (Persero). (2014b). kepdir 520 buku pedoman pemeliharaan PMT. *Buku Pedoman Pemutus Tenaga*.
9. PT. PLN (Persero). (2014c). *kepdir 520 buku pedoman pemeliharaan proteksi trafo*.
10. PT. PLN (Persero). (2014d). *kepdir 520 buku pedoman pemeliharaan trafo tenaga*.
11. PT. PLN (Persero). (2014e). KEPDIR 520 Buku Pedoman Saluran Kabel Tegangan Tinggi dan SKLT. *Buku Pedoman Saluran Kabel Tegangan Tinggi Dan SKLT*.
12. PT. PLN (Persero). (2014f). KEPDIR 520 Buku Pedoman Saluran Udara Tegangan Tinggi. *Buku Pedoman Saluran Udara Tegangan Tinggi*.
13. PT. PLN (Persero). (2014g). *KEPDIR 520 GAS INSULATED SUBSTATION*.
14. samaulah, H. H. (2004). *DASAR - DASAR SISTEM PROTEKSI TENAGA LISTRIK*.
15. Sumardjati, P. (2008). *TEKNIK PEMANFAATAN TENAGA LISTIK JILID 2 (Vol. 2)*.