

AUTOMASI SISTEM PELUMASAN TERUKUR PADA PERAKITAN ELEMEN-ELEMEN MESIN BERBASIS MIKROKONTROLER

Surya Alimsyah, Luthfi Mawaryuningtyas

surya_alimsyah@yahoo.com.sg, sptsnj@gmail.com

Fakultas Teknologi Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II Jagakarsa, Jakarta Selatan.

ABSTRACT: *In motor vehicle production, the assembly process of the engine elements shall be lubricated in a quantifiable manner with the lubricant quantity depending on the lubrication standards of each element. In this research, a prototype system of automation of measured lubrication was designed and made to improve the effectiveness of lubrication process that was initially manual work, and to improve the standardization of quality which was originally lubrication based on the estimated quantity by the operator to be automatically measured. This system is controlled by Arduino Mega 2560 microcontroller integrated with 2.4 inch TFT touch screen display which will arrange open and close the oil spreader operation in the form of hydraulic solenoid valve 220VAC 1/2"x1/2" pressurized fluid 0.5 – 8 bars. Oil spreader output is set via touch screen with lubricant volume and lubrication period parameters. Both of these parameters can be changed up to a maximum of 35 ml and 25 secs independently for each spreader as needed, without changing the program on the microcontroller. The lubricant is supplied by the Bilge 1100 GPH pump from the main tank and from a sub-tank equipped with a level sensor, producing tested pressure at each valve the magnitude varies from 0.5 bar to 0.9 bar depending on the valve distance from the sub-tank pump and the number of active spreaders. While the accuracy of the output of lubricant volume reached 70.3% and 99.5% for the accuracy of the period, with 100% automatic functions were achieved.*

Keywords : *Automation of lubrication, Measurable lubrication, Arduino Mega 2560, TFT 2.4 touchscreen Display, Oil Spreader.*

ABSTRAK: Dalam produksi kendaraan bermotor, proses perakitan elemen-elemen mesin harus mendapat pelumasan secara terukur dengan kuantitas pelumas tergantung standar pelumasan dari tiap-tiap elemen. Pada penelitian ini dirancang dan dibuat sebuah prototipe sistem otomatisasi pelumasan secara terukur guna meningkatkan efektifitas kerja yang awalnya manual menjadi otomatis, serta guna meningkatkan standarisasi kualitas yang mulanya pelumasan berdasarkan kuantitas perkiraan oleh operator menjadi terukur otomatis. Sistem ini dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang terintegrasi dengan tampilan layar sentuh TFT 2,4 inci yang akan mengatur buka-tutup *oil spreader* berupa katup solenoida hidrolis 220VAC 1/2"x1/2" bertekanan fluida 0,5 – 8 bar. Keluaran *oil spreader* disetel melalui layar sentuh dengan parameter volume pelumas dan periode pelumasan. Kedua parameter ini dapat diubah-ubah hingga maksimum 35 ml dan 25 detik secara mandiri untuk masing-masing *spreader* sesuai dengan kebutuhan, tanpa mengubah program pada mikrokontroler. Pelumas dialirkan oleh pompa Bilge 1100 GPH dari tangki utama dan dari *sub tank* yang dilengkapi dengan sensor level, menghasilkan tekanan teruji di setiap katup besarnya bervariasi antara 0,5 bar sampai 0,9 bar tergantung jarak katup dari pompa *sub tank* dan jumlah *spreader* aktif. Sedangkan keakuratan keluaran volume pelumas mencapai 70,3% dan 99,5% untuk keakuratan periodenya, dengan fungsi-fungsi otomatis 100% terpenuhi.

Kata kunci: Otomasi pelumasan, Pelumasan terukur, Arduino Mega 2560, Display TFT 2.4 *touchscreen*, *Oil Spreader*.

1. PENDAHULUAN

Dalam produksi kendaraan bermotor, proses perakitan elemen-elemen mesin harus mendapat pelumasan dengan kuantitas pelumas bervariasi tergantung standar pelumasan dari tiap-tiap elemen. Proses ini disebut *oil pre lubrication*, yang secara konvensional dilakukan oleh operator dengan kuantitas pelumas yang diberikan hanya berdasarkan perkiraan saja. Hal tersebut di satu sisi dapat menyebabkan pemborosan akibat pemberian pelumas yang berlebihan, dan di sisi lain kualitas pelumasan bisa menjadi tidak optimal apabila kekurangan.

Guna meningkatkan konsistensi standar kualitas *oil pre lubrication*, maka diperlukan sistem yang dapat menjamin hal tersebut dengan proses yang terukur dan

berlangsung secara otomatis, sehingga sekaligus dapat meningkatkan efektifitas kerja.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Board ini memiliki pin I/O sejumlah 54-pin I/O digital (15-pin diantaranya adalah PWM), 16-pin input analog, 4-pin UART (serial port).

Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan oscillator 16-Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Pada penggunaan yang cukup sederhana, dengan hanya menghubungkan power dari

USB ke PC atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC maka board Arduino sudah dapat digunakan.

2.2 LCD Touchscreen TFT 2.4 inch

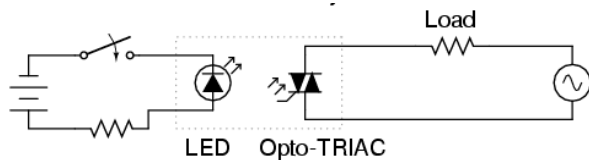
Modul LCD TFT dengan layar sentuh berukuran 2.4 inci dilengkapi slot Micro-SD terintegrasi memiliki tampilan layar dengan resolusi 240x320 pixel dengan kedalaman warna 18-bit menggunakan chip SPFD5408 sebagai kontroler. Modul ini memiliki video RAM buffer terpadu, dikendalikan lewat 8-pin antarmuka digital dan 4-jalur kendali untuk penggunaan fungsi touchscreen. Bentuk fisik TFT 2.4 inch dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Bentuk Fisik LCD TFT 2.4 Inch

2.3 Relay Solid State

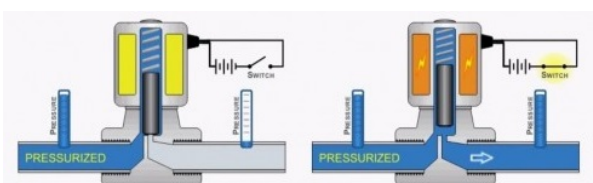
Relay solid state adalah sebuah perangkat switching elektronik menggunakan output SCR optis, atau TRIAC optis, ataupun transistor optis sebagai pengganti kontak saklar mekanik. Sebagai inputnya adalah sebuah sumber cahaya LED yang berada di dalam relay. Gambar 2 menjelaskan skematik relay solid state, yang akan menyambungkan (*switch-on*) beban dengan sumber tegangan hanya ketika cahaya dari LED diterima oleh GATE optis pada TRIAC.



Gambar 2: Skematik Relay Solid State

2.4 Solenoid Valve

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik melalui kumparan/solenoida. Solenoid valve ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem fluida. Solenoid valve bekerja ketika mendapatkan tegangan sumber yang membuat solenoida menarik spring yang akan membuka katup. Selain itu diperlukan tekanan antara 0,5–8 bar untuk dapat mengalirkan fluida cair melalui solenoid valve tersebut. Gambar 3 menunjukkan prinsip kerja solenoid valve.

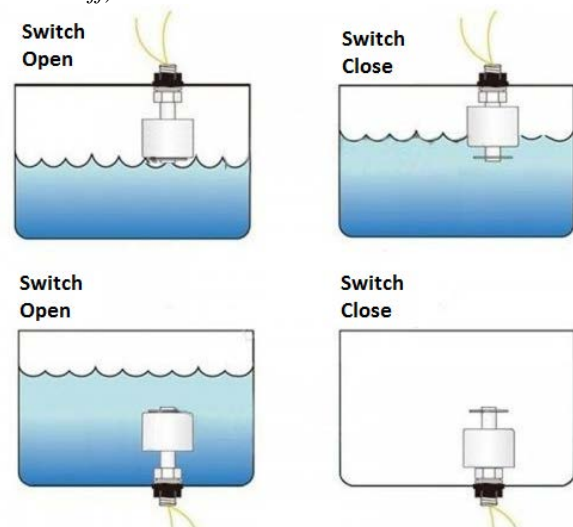


Gambar 3: Prinsip Kerja Solenoid Valve

2.5 Sensor Level

Float type level switch adalah suatu sensor pendeteksi level berbentuk saklar yang berpengerak bola-ambang (*ball-floater*) dan ditempatkan secara tetap pada suatu level tertentu, sehingga akan terendam atau terbebas dari cairan, tergantung pada level cairan itu sendiri.

Prinsip kerja “*on-off*”-nya dapat berbolak-balik tergantung cara pemasangannya yang dapat dibolak-balik secara vertical, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Pada pemasangan di posisi atas dengan cara pemasangan yang diperlihatkan gambar tersebut, maka saklar akan “tersambung” (*switch-on*) ketika terendam cairan. Namun, dengan cara pemasangan yang dibalik atas-bawahnya dan ditempatkan pada posisi di dasar tangki, maka kerja saklar akan terbalik justru menjadi “terputus” (*switch-off*) ketika terendam cairan.



Gambar 4: Cara Pemasangan dan Cara Kerja *Float Type Level Switch*

2.6 Pompa Bilge 1100 GPH

Pompa Bilge 1100 GPH tergolong ke dalam jenis pompa *submersible*. Pompa *submersible* adalah perangkat yang memiliki motor tertutup rapat digabungkan dengan tubuh pompa. Seluruh komponen terendam dalam cairan yang akan dipompa. Keuntungan utama dari jenis pompa *submersible* adalah bahwa dengan mencelupkan pompa pada cairan dapat mencegah kavitasi pompa; masalah terkait dengan perbedaan elevasi tinggi antara pompa dan permukaan cairan. Pompa *submersible* bekerja dengan mendorong cairan ke permukaan sebagai lawan dari jetpump yang harus menarik cairan.

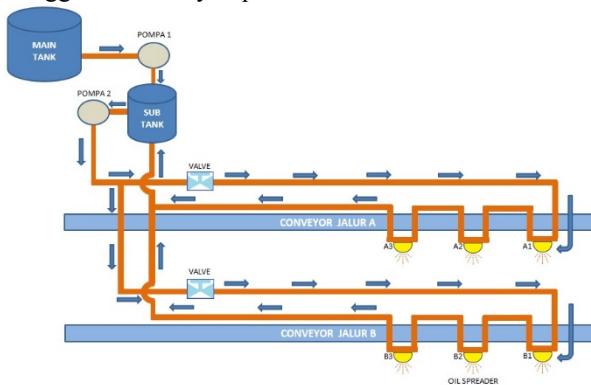
3. Metodologi

3.1 Konsep dan Rancangan Sistem

Rancangan otomatisasi sistem pelumasan terukur pada perakitan elemen-elemen mesin dibuat untuk mengontrol kerja sistem *oil pre lubrication*, baik dalam mengontrol distribusi pelumas maupun pada proses pelumasannya. Pada proses distribusi yang akan dikontrol adalah siklus kerja pompa tangki yang menampung pelumas. Sedangkan pada proses pelumasan yang akan dikontrol adalah kerja *oil*

spreader. Oil spreader adalah titik dimana pelumas akan dikeluarkan kepada elemen mesin.

Pada sistem terdapat tangki utama serta tangki distribusi atau *sub tank*. Pada masing-masing tangki terdapat sebuah pompa. Pompa *sub tank* berfungsi untuk mendistribusi pelumas menuju *spreader* melalui jalur lubrikasi. Sedangkan pompa tangki utama berfungsi untuk menyuplai pelumas menuju *sub tank* apabila level *sub tank* minimum. Gambar 5 menunjukkan jalur distribusi *oil pre lubrication*, menggunakan minyak pelumas Oli SAE 40.



Gambar 5: Skema Aliran Fluida Pelumas

Simbol panah pada Gambar 5 menunjukkan arah aliran pelumas yang bekerja pada jalur lubrikasi. Terdapat sejumlah jalur lubrikasi identik yang paralel, yang pada protipe Gambar 5 diwakilkan oleh 2-jalur A dan B. Masing-masing jalur memiliki belasan sampai puluhan buah *oil spreader*. Protipe Gambar 5 diwakilkan oleh masing-masing 3 buah *spreader* saja, yaitu A1, A2, A3 dan B1, B2, B3. Pada masing-masing jalur dilengkapi dengan sebuah keran manual yang berfungsi sebagai pengaman apabila terjadi masalah pada jalur tersebut, sehingga tidak akan mengganggu kerja jalur lainnya.

Sedangkan Pompa-1 dan Pompa-2 bekerja berdasarkan deteksi kondisi aktual dari kedua tangki melalui sensor level. Dari hasil pembacaan kombinasi logika sensor tersebut, maka dirumuskan menjadi kondisi kerja pompa seperti pada Tabel 1.

Tabel 1: Kerja Pompa Berdasarkan Sensor Level

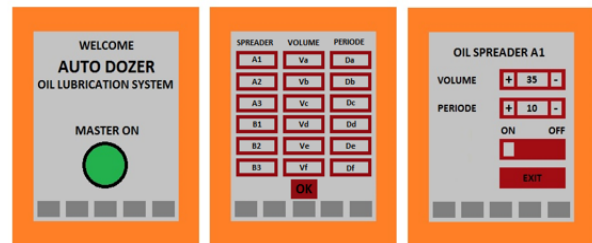
Pendeteksian Sensor (S)			Kerja Pompa (P)	
S1	S2	S3	P1	P2
Main Tank	Sub Tank	Sub Tank	Main Tank	Sub Tank
--	--	--	X	Distribusi
--	--	Penuh	Off	Distribusi
--	Kosong	--	Suplai	Off
Kosong	--	--	Off	Distribusi
Kosong	--	Penuh	Off	Distribusi
Kosong	Kosong	--	Off	Off

Keterangan tabel:

- "Kosong" = S1/S2 (level-bawah) tidak terendam
- "Penuh" (Sub-tank) = S3 (level-atas) terendam
- "-" pada S1/S2 = terendam (tangki tidak kosong)
- "-" pada S3 = tidak terendam (tangki tidak penuh)
- "Suplai" = P1 aktif (*on*); Main-tank mensuplai Sub-tank
- "Distribusi" = P2 aktif (*on*); Sub-tank mendistribusi ke Spreader
- "X" = P1 boleh aktif (*on*) ataupun tidak (*off*).

Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa Pompa-1 akan menyuplai oli dari tangki utama menuju *sub tank* jika kondisi tangki utama tidak kosong dan *sub tank* kosong, namun boleh juga ketika *sub tank* sedang tidak kosong, asalkan tangki utama tidak kosong. Sedangkan Pompa-2 akan mendistribusi oli menuju *oil spreader* melalui jalur lubrikasi secara terus menerus, selama *sub tank* tidak kosong.

Selanjutnya mikrokontroler akan mengontrol proses pelumasan pada *oil spreader* dengan mengatur nilai volume dan periode keluaran pelumas berdasarkan input pada setelan (*setting*) yang diberikan melalui layar sentuh. Volume keluaran pelumas diatur dalam satuan mili liter sedangkan periode diatur dalam satuan detik. Nilai yang digunakan untuk mengatur durasi waktu *oil spreader* aktif mengeluarkan pelumas berdasarkan volume yang diinput adalah sebesar 2,2 detik per-10-ml oli. Nilai ini didapatkan dari uji pendahuluan pada paragraf 4.1. Gambar 6 menunjukkan tampilan layar sentuh yang digunakan untuk mengatur keluaran *spreader*.



Home Screen

Main Menu

Sub Menu Oil Spreader

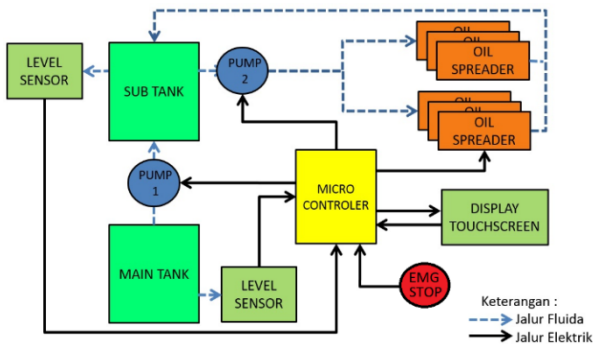
Gambar 6: Tampilan Menu Pada Display Touchscreen

Setelah pompa bekerja sesuai dengan syarat kondisi sensor level tangki pada Tabel 1, maka tombol MASTER ON tampilan "home screen" pada Gambar 6 dapat disentuh.

Setelah tombol MASTER ON disentuh, maka akan muncul tampilan "main menu" yang menyajikan seluruh unit *oil spreader* pada sistem beserta nilai *setting* volume dan periode yang terbaca. Ini berarti *spreader* sudah siap untuk diaktifkan. Apabila ingin mengubah nilai *setting* hanya perlu ditekan pada nama unit *spreader* yang ingin diubah sehingga akan muncul tampilan "sub menu oil spreader". Pada sub menu ini, nilai volume dan periode dapat diubah dengan—menambahkan atau mengurangi nilainya. Kemudian dipilih tombol ON untuk mengaktifkan dilanjutkan dengan tombol EXIT untuk mengeksekusi perintah. Selain itu juga dilengkapi tombol ON-OFF yang berfungsi untuk memilih status unit *spreader* yang akan dioperasikan.

3.2 Perangkat Keras Sistem

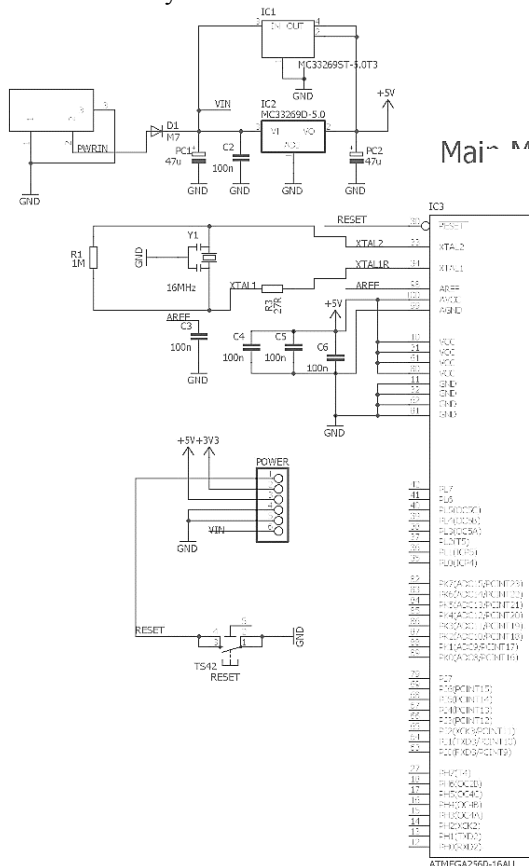
Sistem ini menggunakan kontroler Arduino Mega 2560 untuk mengatur kerja pompa oli dan kerja *spreader* melalui pin digital. Sedangkan penampil layar sentuh terkoneksi dengan 5-pin analog dan 12-pin digital. Total pin yang digunakan pada papan Arduino untuk protipe sistem ini adalah 5-pin analog dan 23-pin digital yang berarti menggunakan setengah dari total jumlah pin yang tersedia.



Gambar 7: Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa mikrokontroler yang bertugas sebagai pengendali utama akan mengatur kerja Pompa-1, Pompa-2, Oil Spreader dan Display Touchscreen. Sensor level yang berupa *float level switch* berfungsi mendeteksi permukaan oli pelumas di dalam tangki utama pada level bawah saja, dan mendeteksi *sub-tank* pada kedua level atas dan bawah. Hasil kerja sensor inilah yang akan menjadi dasar bagi mikrokontroler untuk mengendalikan kapan masing-masing pompa oli harus dihidup-matikan. Sedangkan aktifitas buka-tutupnya katup Oil Spreader dikendalikan oleh mikrokontroler dengan durasi dan periode yang tergantung kepada masukan parameter “volume” dan parameter “periode” dari Display Touchscreen yang sudah disetel (*setting*) sebelumnya.

Sistem ini dilengkapi juga dengan tombol Emergency Stop yang berfungsi untuk memutus sumber tegangan pada Pompa-1, Pompa-2 dan Oil Spreader, apabila terjadi kegagalan sistem atau kondisi abnormal lainnya.



Gambar 8: Sistem Minimum Arduino Mega 2560

3.2.1 Sistem Minimum ATmega 2560

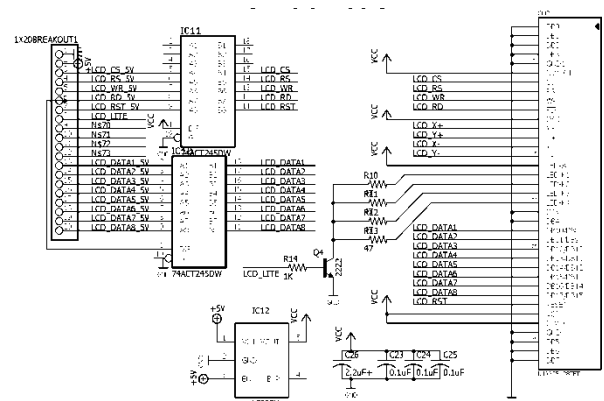
Arduino Mega 2560 merupakan *board* yang dibentuk oleh sistem minimum memakai mikrokontroler ATmega2560. Pada Gambar 8 diperlihatkan sistem minimum yang digunakan dalam Arduino Mega 2560. Terlihat rangkaian pembentuk sistem minimum modul Arduino Mega pada gambar tersebut terdiri atas rangkaian power supply, rangkaian pembangkit pulsa clock dan rangkaian reset.

Penggunaan port mikrokontroler diatur sesuai Table 2. Input yang digunakan oleh mikrokontroler merupakan output dari sensor level tangki dan pembacaan display touchscreen yang dikonversi oleh internal ADC pada pin analog. Input dari sensor level tangki merupakan input digital sedangkan dari display touchscreen merupakan input tegangan unik pada pembacaan tiap-tiap koordinat layar sentuh.

Tabel 2: Penggunaan Pin-Pin Arduino

No.	PIN	KONEKSI	No.	PIN	KONEKSI
1	3.3 V	Power	17	D10	Touchscreen
2	5 V	Power	18	D11	Touchscreen
3	GND	Power	19	D12	Touchscreen
4	A0	Touchscreen	20	D13	Touchscreen
5	A1	Touchscreen	21	D22	Sensor
6	A2	Touchscreen	22	D24	Sensor
7	A3	Touchscreen	23	D26	Sensor
8	A4	Touchscreen	24	D30	Pump 1
9	D2	Touchscreen	25	D31	Pump 2
10	D3	Touchscreen	26	D32	Valve A1
11	D4	Touchscreen	27	D33	Valve A2
12	D5	Touchscreen	28	D34	Valve A3
13	D6	Touchscreen	29	D35	Valve B1
14	D7	Touchscreen	30	D36	Valve B2
15	D8	Touchscreen	31	D37	Valve B3
16	D9	Touchscreen			

3.2.2 Rangkaian Display Touchscreen



Gambar 9: Rangkaian Display Touchscreen

Sistem ini menggunakan Display Touchscreen TFT 2.4 inci *high quality* yang didesain kompatibel dengan Arduino Mega. Display touchscreen juga mampu dikonfigurasi dengan software IDE Arduino menggunakan aplikasi Adafruit yang terdapat didalamnya. Program untuk inisialisasi awal penggunaan display touchscreen juga disediakan oleh

Adafruit dengan program sketch example. Gambar 9 menunjukkan skematik rangkaian display touchscreen.

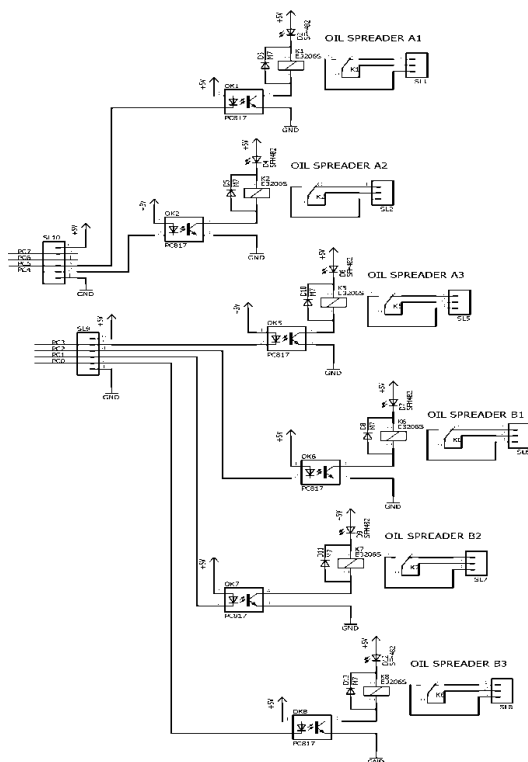
Pada dasarnya prinsip kerja komunikasi data pada display TFT 2.4 inch ini sama dengan komunikasi data antara mikrokontroler dengan LCD 6X12, hanya saja pada display TFT ini dilengkapi dengan fitur touchscreen yang menggunakan I/O analog pada pemasangannya.

Untuk mengetahui lebih detail tentang koneksi pin mikrokontroler dan display touchscreen TFT 2.4 inci dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Koneksi Pin Arduino dengan Display TFT 2.4”

Arduino	LCD Shield Pin	Fungsi
3.3 V	3.3V	Power
5 V	5V	Power
GND	GND	Power
A0	LCD_RD	LCD Control
A1	LCD_WR / TOUCH_YP	LCD Control / Touch Data
A2	LCD_RS / TOUCH_XM	LCD Control / Touch Data
A3	LCD_CS	LCD Control
A4	LCD_RST	LCD Reset
D2	LCD_D2	LCD Data
D3	LCD_D3	LCD Data
D4	LCD_D4	LCD Data
D5	LCD_D5	LCD Data
D6	LCD_D6 / TOUCH_XP	LCD Data/ Touch Data
D7	LCD_D7 / TOUCH_YM	LCD Data / Touch Data
D8	LCD_D0	LCD Data
D9	LCD_DI	LCD Data
D10	SD_CS	SD Select
D11	SD_DI	SD Data
D12	SD_DO	SD Data
D13	SD_SCK	SD Clock

3.2.3 Rangkaian Oil Spreader



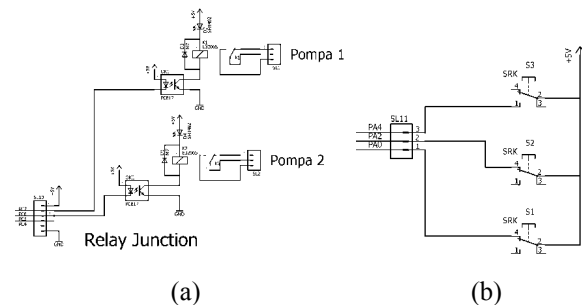
Gambar 10: Rangkaian Oil Spreader

Komponen penyusun oil spreader adalah solenoid valve 1/2" x 1/2" yang bekerja dengan sumber 220 VAC yang diberikan tekanan fluida cair pada rentang 0,5 bar hingga 8 bar. Inilah alasan mengapa diperlukan modul relay dalam sistem ini, karena mikrokontroler menggunakan tegangan kerja pada masing-masing pin input-output adalah 0-5 volt. Pada Gambar 10 ditunjukkan skematik rangkaian oil spreader.

Dalam pengaplikasiannya, relay yang digunakan adalah modul single relay 4 channel yang bekerja aktif “rendah”. Ketika pin mikrokontroler memberikan tegangan aktif “rendah”, maka transmitter optocoupler akan bekerja. Sinyal optic yang diterima akan memicu receiver untuk aktif sehingga saklar optocoupler akan tertutup. Kemudian arus akan melewati kumparan solenoida relay yang mengakibatkan saklar NO (normally open) tertutup. Solenoid valve akan mendapatkan supply tegangan sehingga akan aktif.

3.2.4 Rangkaian Pompa Oli dan Sensor Level

Pompa yang digunakan adalah pompa Bilge 1100 GPH DC 12 Volt dengan kapasitas 4000 liter/jam. Pertimbangan menggunakan pompa dengan kapasitas besar sebagai pompa *sub tank* adalah karena terdapat 6-buah katup solenoida yang akan digerakkan dengan masing-masing katup memerlukan tekanan 0,5 bar hingga 8 bar untuk dapat terbuka. Pompa yang digunakan diasumsikan dapat mendukung kerja katup solenoida tersebut dengan berbagai macam variasi kondisi kerja. Pada Gambar 11 (a) ditunjukkan skematik rangkaian Pompa Oli.

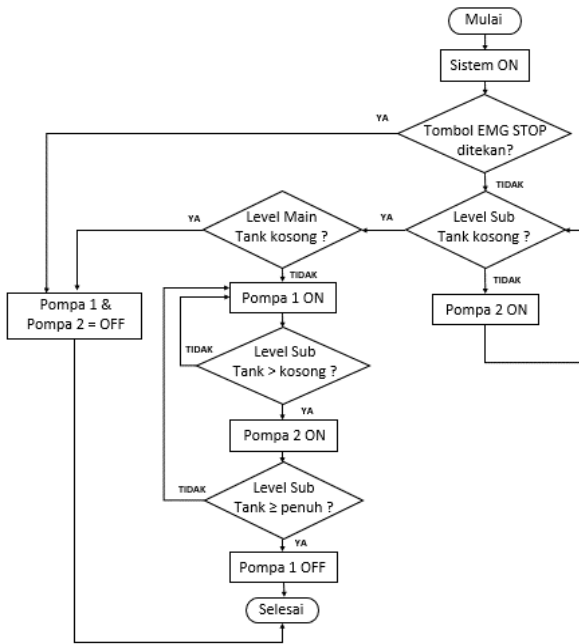


Gambar 11 (a): Rangkaian Pompa Oli
(b) Rangkaian Sensor Saklar Level Tangki

Mikrokontroler mengendalikan input pompa melalui modul relay dengan mengaktifkan kontak relay berdasarkan kondisi tangki oli hasil pendeteksian sensor level sebagaimana 6-kemungkinan kombinasi status dari 3-buah sensor S1, S2, dan S3 yang direncanakan pada Tabel 1 menggunakan rangkaian Gambar 11 (b). Keenam kombinasi status tersebut pada Tabel 1 tidak mencakup 2-macam kombinasi $S_1S_2S_3 = X11$, karena memang tidak dimungkinkan kedua saklar S_2S_3 berbarengan sama-sama berstatus aktif.

3.3 Perangkat Lunak Sistem

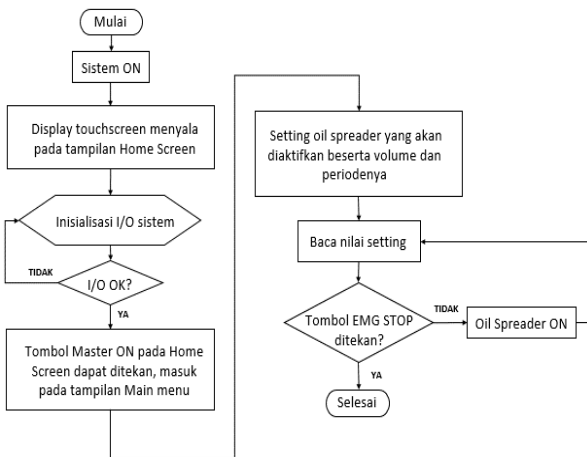
Secara software kerja sistem dibagi menjadi dua bagian yang saling berhubungan. Bagian pertama adalah proses distribusi oli pelumas, dan bagian kedua adalah proses pelumasan. Alur kerja pada proses distribusi ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12: Flowchart Proses Distribusi Oli

Sebelum Pompa-2 mendistribusi oli menuju jalur lubrikasi, terlebih dahulu diperiksa kondisi pada sistem mencakup tombol Emergency Stop, dan level oli pada kedua tangki. Setelah syarat kondisi terpenuhi maka Pompa-2 akan bekerja. Dua puluh detik setelah Pompa-2 bekerja, tombol MASTER ON pada tampilan layar sentuh dapat ditekan.

Gambar 13 menunjukkan alur kerja pada proses pelumasan melalui *spreader*.



Gambar 13: Flowchart Proses Pelumasan Oli

Setelah MASTER ON ditekan, barulah oil spreader dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Nilai volume maksimum yang dapat diatur sebesar 35 ml dengan periode maksimum 25 detik. Nilai tersebut dikondisikan dengan nilai aktual pada standar lubrikasi pelumasan elemen-elemen mesin kendaraan bermotor.

4. Hasil dan Bahasan

Prototipe sistem ini telah dibuat dan dilakukan pengujian yang meliputi uji pendahuluan terhadap elemen sistem secara parsial, maupun uji otomatisasi kerja dan keakuratan hasil yang dilakukan secara menyeluruh terhadap satu kesatuan sistem seutuhnya.

4.1 Uji Pendahuluan Tekanan dan Volume

Pengujian pendahuluan ini dimaksudkan untuk memastikan dorongan Pompa-2 yang mendistribusikan oli pelumas dari *sub-tank* kepada tiap-tiap *spreader*, memberikan tekanan yang cukup kuat kepada setiap katup solenoida, yaitu dalam rentang 0,5–8 bar sebagaimana persyaratan kerja dari katup tersebut.

Pengujian ini dilakukan dalam berbagai kemungkinan kondisi pengoperasian yang memvariasikan jumlah dan posisi katup aktif, dengan mengukur tekanan oli yang keluar dari katup menggunakan alat ukur pada Gambar 14.



Gambar 14: Pressure Gauge Nagano 0-10 bar

Hasil pengujian pada Tabel 4 memperlihatkan bahwa persyaratan kerja telah terpenuhi, meski hasil tersebut sekaligus menyatakan tekanan faktualnya ternyata tidak seragam dan hanya pas untuk memenuhi syarat minimal atau sedikit saja di atas nilai minimum 0,5 bar. Faktor jumlah katup aktif dan jarak relatif katup dari pompa distribusi ternyata juga terlihat mempengaruhi tekanan tersebut.

Tabel 4: Hasil Uji Pendahuluan Tekanan dan Volume

No Uji	Tekanan Terukur (bar)						Volume per 5 detik (ml)					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	A1	A2	A3	B1	B2	B3
1	0,9	-	-	-	-	-	35	-	-	-	-	-
2	-	0,6	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
3	-	-	0,5	-	-	-	-	-	15	-	-	-
4	-	-	-	0,9	-	-	-	-	-	30	-	-
5	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	15	-
6	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	15
7	0,9	0,6	-	-	-	-	30	20	-	-	-	-
8	0,8	-	0,6	-	-	-	35	-	15	-	-	-
9	-	0,6	0,6	-	-	-	-	15	15	-	-	-
10	0,9	-	-	0,8	-	-	30	-	-	30	-	-
11	0,8	-	-	-	0,5	-	35	-	-	-	15	-
12	0,8	-	-	-	-	0,5	30	-	-	-	-	15
13	0,9	0,6	0,6	-	-	-	33	15	15	-	-	-
14	0,9	-	0,6	0,9	-	-	30	-	15	30	-	-
15	0,9	-	-	0,8	-	0,5	30	-	-	30	-	15
16	0,8	0,5	0,5	0,9	-	-	30	20	15	25	-	-
17	0,9	0,6	-	0,8	0,6	-	35	20	-	30	15	-
18	0,9	-	0,6	0,8	-	0,6	33	-	15	30	-	15
19	0,8	0,5	0,5	0,8	0,6	-	30	15	15	25	20	-
20	0,8	0,6	0,5	0,8	-	0,6	30	15	15	30	-	15
21	0,8	0,6	0,5	0,8	0,6	0,5	30	15	15	25	15	15

Sejalan dengan uji tekanan diatas, dilakukan juga uji pendahuluan terhadap volume faktual cairan oli yang keluar dari katup aktif selama 5 detik, dan hasilnya juga ditunjukkan pada Tabel 4 tersebut. Uji pendahuluan yang kedua ini dimaksudkan untuk mengetahui volume riil keluaran pelumas per detik dari *spreader*, yang tujuannya adalah untuk mendapatkan formula setting durasi waktu aktifnya katup solenoida per volume *setting*.

Uji Pendahuluan Volume ini menggunakan program uji khusus, dimana mikrokontroler mengaktifkan katup solenoida selama 5 detik, dengan keluaran olinya ditampung memakai gelas ukur.

Pengolahan atas data-hasil Tabel 4, memberikan nilai rata-rata volume riil yang keluar dari *spreader* adalah sebesar 4,49 ml/detik, atau berarti untuk mengeluarkan oli sebanyak 10-ml *spreader* harus diaktifkan selama 2,2 detik.

Sebagai catatan penting, perlu diingat bahwa formula tersebut dihitung berdasarkan data hasil uji Tabel 4 yang menunjukkan konsistensi data tidak terlalu baik.

4.2 Uji Otomatisasi dan Keakuratan Kerja Sistem

Uji otomatisasi kerja dan keakuratan hasil kerja dari sistem yang dioperasikan sebagai satu kesatuan seutuhnya, dimaksudkan untuk mengetahui seberapa berhasilnya kerja otomatis sesuai dengan fungsi-fungsi yang dirancang, sekaligus mengukur seberapa akuratnya hasil kerja tersebut yang meliputi:

- Fungsi Automasi Kerja Sensor dan Pompa
- Fungsi Automasi Mengeluarkan Volume Oli sesuai *Setting*
- Fungsi Automasi Siklus Kerja Pelumasan sesuai *Setting*

Pengujian otomatisasi kerja sensor dan pompa, bertujuan untuk mengetahui apakah kerja otomatis dari Sensor-1, Sensor-2, dan Sensor-3 telah sesuai dengan kondisi faktual isi Tangki-utama dan *Sub-tank*, serta apakah kerja otomatis dari Pompa-1 dan Pompa-2 juga telah sesuai dengan kondisi yang terdeteksi pada ketiga sensor level tersebut, sesuai dengan yang dirancang.

Pengujian diskenariokan dengan tahapan yang dikondisikan seperti sewajarnya operasi sesungguhnya, dalam arti:

- Ada saat dimana *sub-tank* akan mengalami pengosongan akibat dari aktifnya Pompa-2 yang mendistribusi pelumas kepada *spreader* serta aktifnya *spreader* yang mengeluarkan pelumas.
- Ada saat dimana *sub-tank* akan menjadi penuh ketika Pompa-1 sedang aktif mensuplai pelumas dari tangki utama.
- Ada saat dimana tangki utama akan menjadi kosong ketika Pompa-1 sedang aktif mensuplai pelumas kepada *sub-tank*.
- Ada juga saat dimana tangki utama yang sedang kosong akan berubah menjadi tidak lagi kosong akibat dilakukan pengisian secara manual, sebagaimana konsep rancangan sistem.

Hasil pengujian ditunjukkan oleh Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 yang secara berturut-turut menyajikan hasil pengujian dari ketiga fungsi automasi tersebut diatas.

Pada Tabel 5 disajikan hasil pengujian terhadap reaksi kerja otomatis ketiga sensor dan kedua pompa berdasarkan variasi kondisi isi kedua tangki dalam berbagai kemungkinan urutan (*sequence*) kejadian pada tahapan pengujian. Namun urutan baris sajian tabel tidak disajikan dalam urutan tahap pengujian

tersebut, yang sesungguhnya merupakan tahapan panjang guna mencakup semua kemungkinan kejadian dalam pengoperasian yang sesungguhnya. Sajian baris tabel ini diringkas berupa rangkuman yang diurutkan berdasarkan semua kemungkinan kombinasi status ketiga sensor. Baris ke-4 dan ke-8 tabel yang disorot, hanyalah untuk melengkapi 2-macam kombinasi yang *tak mungkin terjadi*, yaitu Sensor-2 dan Sensor-3 sama-sama “On” yang berarti kedua sensor ini mendeteksi *sub-tank* dalam keadaan *kosong dan penuh* pada saat yang bersamaan. Fakta hasil pengujian sesungguhnya untuk kedua baris-4 dan baris-8 ini memang tidak pernah terjadi.

Tabel 5: Hasil Pengujian Fungsi Automasi Kerja Sensor dan Pompa

TANGKI		SENSOR			POMPA	
Utama	Sub	S1	S2	S3	P1	P2
-	-	Off	Off	Off	X	Aktif
-	Penuh	Off	Off	On	Off	Aktif
-	Kosong	Off	On	Off	Aktif	Off
-	X	Off	On	On	-	-
Kosong	-	On	Off	Off	Off	Aktif
Kosong	-	On	Off	On	Off	Aktif
Kosong	Kosong	On	On	Off	Off	Off
Kosong	X	On	On	On	-	-

Keterangan tabel:

- Urutan sajian baris bukan berdasarkan tahapan pengujian, melainkan berdasarkan urutan kombinasi lengkap status ketiga sensor
- “-” pada Tangki-utama = “tidak kosong”
- “-” pada Sub-tank = “tidak kosong dan tidak penuh”
- “-” pada Pompa = tidak ada kejadiannya
- “X” pada Tangki = “don’t care” karena tak pernah terjadi
- “X” pada Pompa = “don’t care” kadang Off, kadang Aktif, tergantung kondisi sebelumnya.

Hasil pengujian sesungguhnya hanyalah mencakup 6 dari 8 baris pada Tabel 5, tidak termasuk baris-4 dan baris-8. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa seluruh reaksi otomatis kerja semua sensor maupun semua pompa telah 100% sesuai dengan yang seharusnya.

Untuk maksud dan tujuan mengecek realita “Fungsi Automasi Mengeluarkan Volume Oli sesuai *Setting*” dan “Fungsi Automasi Siklus Kerja Pelumasan sesuai *Setting*”, pengujian keduanya dilakukan dalam skenario tahapan secara terpadu guna mengecek keberhasilan fungsi automasi sekaligus mengukur keakuratan hasil kerja yang mencakup kedua parameter *setting* (Volume dan Periode), dimana *setting* keduanya terlebih dahulu dimasukkan melalui Menu Display Touchscreen (Gambar 6) diawal pengoperasian alat. Prosedur pengujian yang dilakukan pada dasarnya merupakan kombinasi dari prosedur pengujian “Fungsi Automasi Kerja Sensor dan Pompa” dengan prosedur Pengujian Pendahuluan (paragraf 4.1) tentang Volume. Sebagai tambahan, digunakan juga *Stop-watch* digital untuk mengukur periode waktu faktualnya.

Meski skenario dan prosedur pengujian tersebut diatas dilakukan secara terpadu, namun hasil pengujiannya disajikan secara terpisah pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6: Hasil Pengujian Fungsi Automasi Mengeluarkan Volume Oli sesuai Setting

No Uji	Nilai Setting (ml)						Nilai Faktual (ml)					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	A1	A2	A3	B1	B2	B3
1	20	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-
2	-	25	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
3	-	-	30	-	-	-	-	-	20	-	-	-
4	-	-	-	35	-	-	-	-	-	40	-	-
5	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	20	-
6	-	-	-	-	-	25	-	-	-	-	-	15
7	20	25	-	-	-	-	30	20	-	-	-	-
8	25	-	25	-	-	-	35	-	20	-	-	-
9	-	20	30	-	-	-	-	15	25	-	-	-
10	30	-	-	35	-	-	40	-	-	40	-	-
11	35	-	-	-	30	-	45	-	-	-	20	-
12	30	-	-	-	-	25	40	-	-	-	-	15
13	20	35	30	-	-	-	30	25	20	-	-	-
14	25	-	-	25	25	-	35	-	-	30	20	-
15	30	-	-	-	20	20	40	-	-	25	-	10
16	25	30	20	30	-	-	35	25	10	35	-	-
17	30	25	-	35	25	-	40	20	-	40	20	-
18	35	-	25	30	-	20	45	-	15	35	-	10
19	25	35	25	25	35	-	35	30	15	30	30	-
20	30	30	20	30	-	30	40	25	10	35	-	20
21	35	30	25	20	25	30	45	25	15	25	20	20

Pada Tabel 6 dapat dilihat kenyataan yang tidak terlalu memuaskan karena “Nilai Faktual” yang cukup berbeda dari “Nilai Setting” memberikan simpangan rata-rata relatif besar yaitu 29,5% atau berarti keakuratan-volume sebesar hanya 70,5%. Hal ini dapat dipahami sebagai konsekuensi logis dari hasil uji pendahuluan (Tabel 4) yang memang tidak terlalu baik. Guna mengoreksi tingkat keakuratan-volume pelumas tersebut, faktor utama yang harus diperhatikan adalah upaya meningkatkan tekanan fluida agar diterima oleh katup solenoida lebih tinggi dari sekedar memenuhi persyaratan minimal kerja katup. Selain itu keseragaman tekanan pada setiap katup juga menjadi faktor penting. Namun untuk fungsi otomatisasi hasil pengujian ini, telah sepenuhnya 100% berhasil dicapai.

Tabel 7: Hasil Pengujian Fungsi Automasi Siklus Kerja Pelumasan sesuai Setting

No Uji	Nilai Setting (det)						Nilai Faktual (det)					
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	A1	A2	A3	B1	B2	B3
1	25	-	-	-	-	-	24,84	-	-	-	-	-
2	-	24	-	-	-	-	-	23,97	-	-	-	-
3	-	-	23	-	-	-	-	-	23,07	-	-	-
4	-	-	-	22	-	-	-	-	-	21,78	-	-
5	-	-	-	-	21	-	-	-	-	-	20,95	-
6	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	20,02
7	19	16	-	-	-	-	18,86	15,99	-	-	-	-
8	18	-	18	-	-	-	17,83	-	18	-	-	-
9	-	17	19	-	-	-	-	16,96	19,03	-	-	-
10	17	-	-	20	-	-	16,89	-	-	19,8	-	-
11	16	-	-	-	21	-	15,84	-	-	-	20,96	-
12	15	-	-	-	-	22	14,87	-	-	-	-	22,05
13	23	24	23	-	-	-	22,88	23,94	23,01	-	-	-
14	24	-	-	22	20	-	23,85	-	-	21,73	19,98	-
15	25	-	-	21	-	19	24,9	-	-	20,75	-	19,03
16	18	15	17	19	-	-	17,86	14,97	17,04	18,81	-	-
17	17	16	-	20	22	-	16,87	15,98	-	19,79	21,95	-
18	16	-	18	21	-	23	15,93	-	18,07	20,8	-	23,09
19	24	24	22	20	18	-	23,87	23,96	22,05	19,81	17,99	-
20	25	23	21	19	-	17	24,86	22,97	21,02	18,78	-	17,01
21	16	15	16	17	18	19	15,89	14,95	16,03	16,81	17,97	19,06

Sedangkan hasil yang bersesuaian dengan Tabel 6 untuk parameter periode atau siklus pelumasan, dapat dilihat pada Tabel 7. Realita yang terlihat pada Tabel 7 ini adalah bahwa keakuratan hasil untuk parameter waktu Periode pelumasan ternyata jauh lebih baik dibandingkan dengan hasil untuk parameter Volume di atas tadi. Pengolahan data Tabel 7 ternyata memberikan simpangan rata-rata relatif sangat kecil yaitu 0,5% saja atau berarti keakuratan periode-waktu pelumasan hampir sempurna sebesar 99,5%.

5. Simpulan

1. *Setting* volume oli pelumasan dan *setting* periode waktu pelumasan dapat diatur secara mandiri untuk tiap-tiap *spreader*, hingga maksimum 35 ml dan 25 detik.
2. Fungsi automasi kerja pompa oli, dan automasi kerja katup solenoida *spreader* berhasil 100%.
3. Keakuratan volume pelumasan sebesar 70,5% dan keakuratan periode waktu pelumasan mencapai 99,5%.
4. Kualitas akurasi volume pelumasan dipengaruhi oleh tekanan oli pelumas kepada katup solenoida yang ditentukan oleh kapasitas pompa distribusi, jarak *spreader* dari pompa, serta jumlah *spreader* aktif.

6. Daftar Pustaka

[1] J. Pritchard, Philip, Fox and McDonald's. 2010. *Introduction to Fluid Mechanics, 8th Edition*. New York: John Wiley & Sons.

[2] J. Karassik, Igor. Joseph P Messina, Paul Cooper, Charles C. Heald. 2008. *Pump Handbook, Fourth Edition*. New York: McGRAW-HILL.

[3] Zhanggischan. 2004. *Prinsip Dasar Elektroteknik*, Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

PETUNJUK DAN SYARAT NASKAH TULISAN PADA JURNAL ILMIAH ELEKTRO "SINUSOIDA"

- Naskah tulisan berupa hasil penelitian dan kajian IPTEK, bidang Teknik Elektro
- Naskah tulisan terdiri dari Judul, Nama Penulis, Instansi, Abstrak/Intisari, Pendahuluan, Teori, Eksperimen / Perancangan / perhitungan, Diskusi / Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, dan Daftar Pustaka
- Naskah / Tulisan diketik dengan Microsoft Word dengan ukuran A4, margin atas / bawah / kiri / kanan 1 inch, 2 kolom (kecuali judul, instansi, abstrak/intisari 1 kolom). Jenis type font Times New Roman dengan ukuran untuk Judul 12, Penulis dan Instansi 11, isi 10, spasi 1. Jumlah halaman 8 sampai dengan 12 halaman.
- Bila naskah/tulisan diketik dalam bahasa Indonesia, maka Abstract harus dalam bahasa Inggris dan sebaliknya
- Abstrak/Intisari tidak boleh lebih dari 200 kata
- Nomor dan keterangan singkat untuk foto, diletakkan di bawahnya, sedangkan untuk tabel, di atasnya
- Penulisan kepustakaan dalam Daftar Pustaka, dimulai dari Nama Pengarang, Judul Karangan, Nama Majalah / Buku Volume Penerbitan, halaman, tempat dan tahun penerbitan.
- Naskah di kirim ke redaksi Jurnal Ilmiah Teknik Elektro "Sinusoida", FTI-ISTN, Jl Moch. Kahfi II Jagakarsa, Jakarta 12640. E-mail: sinusoida@istn.ac.id
- Redaksi berhak menolak naskah yang kurang memenuhi syarat.