

## **BAB 3 - OPERASI & KONTROL SISTEM**

### **3.1 Prosedur Startup dan Shutdown**

Prosedur startup dan shutdown sistem dirancang untuk memastikan operasi yang aman dan meminimalkan risiko kerusakan komponen elektronik. Urutan power-up dan power-down mengikuti prinsip least-to-most critical untuk system integrity.

#### **3.1.1 Prosedur System Startup**

Startup sistem dilakukan secara bertahap dengan verifikasi pada setiap tahap untuk memastikan seluruh komponen beroperasi normal sebelum memulai kontrol otomatis.

##### **Langkah-langkah Startup:**

##### **1. Pre-Startup Check**

- Verifikasi suplai AC 220V stabil dan dalam range normal
- Pastikan tidak ada alarm kondisi emergency pada sistem WWTP
- Cek kondisi fisik sensor DO (bersih dari kotoran/endapan)
- Verifikasi koneksi kabel dan terminal tidak ada yang loose

##### **2. Power-Up Sequence**

- Nyalakan main power supply (MCB position ON)
- Tunggu LED indicator PSU 24V menyala hijau (stable output)
- Power-up HMI Wecon dengan menekan power button
- Tunggu proses booting HMI selesai (tampil startup screen)
- ESP8266 akan otomatis startup bersamaan dengan PSU 24V

##### **3. System Initialization**

- Monitor startup sequence pada HMI diagnostic screen
- Verifikasi komunikasi Modbus (status: Connected)
- Cek pembacaan sensor DO menampilkan nilai yang reasonable
- Verifikasi tidak ada alarm aktif pada system status

##### **4. Control System Activation**

- Tunggu sistem initialization period (15 detik)
- Sistem akan otomatis masuk ke mode PID control
- Monitor output frequency mulai adjust sesuai kondisi DO
- Verifikasi motor aerator merespon terhadap control signal

##### **Indikator System Ready:**

- HMI menampilkan data real-time DO, voltage, dan frequency
- Status komunikasi "Connected" pada diagnostic screen
- Motor frequency dalam range 20-40 Hz
- Tidak ada alarm aktif pada alarm summary

#### **3.1.2 Prosedur System Shutdown**

Shutdown sistem dilakukan dengan urutan yang tepat untuk memastikan semua data tersimpan dan sistem berhenti pada kondisi yang aman.

#### **Langkah-langkah Shutdown:**

##### **1. Pre-Shutdown Preparation**

- Catat kondisi operasi terakhir (DO value, frequency setting)
- Simpan konfigurasi parameter jika ada perubahan
- Informasikan operator shift berikutnya tentang kondisi sistem

##### **2. Control System Deactivation**

- Set sistem ke mode manual (jika diperlukan)
- Gradually reduce motor frequency ke minimum safe value (20 Hz)
- Monitor kondisi DO selama transisi ke manual control

##### **3. System Power-Down**

- Shutdown HMI dengan proper shutdown procedure (hold power button)
- Tunggu HMI completely powered down
- Turn OFF main power supply (MCB position OFF)
- ESP8266 akan otomatis shutdown dengan power loss

##### **4. Post-Shutdown Check**

- Verifikasi semua LED indicator mati
- Cek kondisi sensor untuk maintenance needs
- Lock electrical panel jika diperlukan untuk security

## **3.2 Interface HMI dan Navigasi**

Interface HMI dirancang dengan layout yang intuitif dan navigasi yang sederhana untuk memudahkan operator dalam monitoring dan kontrol sistem. Screen layout mengikuti prinsip ergonomi industri dengan prioritas informasi yang jelas.

### **3.2.1 Main Dashboard Screen**

Main dashboard menyajikan overview sistem dengan informasi critical yang dibutuhkan operator untuk monitoring kondisi real-time.

#### **Layout Main Dashboard:**

##### **Monitoring Section (Kiri):**

- **ADC Reading:** Raw ADC value dari sensor (0-1023)
- **Voltage:** Converted voltage value (0-3.3V)
- **DO Value:** Dissolved oxygen reading (0-20 ppm)
- **Timestamp:** Real-time clock display

##### **Control Section (Kanan):**

- **Output Frequency:** Motor frequency setting (20-40 Hz)
- **PWM Output:** PWM duty cycle (0-255)
- **Control Mode:** Manual/Auto status indicator

- **System Status:** Overall system health indicator

#### **Trend Display (Bawah):**

- Real-time trend chart DO value (last 1 hour)
- Trend chart motor frequency (last 1 hour)
- Historical min/max values display

### **3.2.2 Parameter Setting Screen**

Screen untuk konfigurasi parameter operasi dan tuning PID controller. Access ke screen ini memerlukan operator level password untuk mencegah perubahan yang tidak authorized.

#### **PID Controller Parameters:**

- **Kp (Proportional):** Default 0.8, range 0.1-2.0
- **Ki (Integral):** Default 0.3, range 0.1-1.0
- **Kd (Derivative):** Default 0.2, range 0.1-0.5
- **Setpoint:** Default 2.5 ppm, range 1.0-5.0 ppm

#### **System Parameters:**

- **Transition Time:** Control loop interval (default 1.0 sec)
- **Calibration Factor:** Sensor calibration multiplier
- **Min/Max Frequency:** Output limiting (20-40 Hz)

#### **Input Fields dengan Validation:**

- Numeric keypad untuk parameter entry
- Range checking dengan error message
- Confirmation dialog untuk critical parameters
- Auto-save ke EEPROM setelah confirmation

### **3.2.3 Diagnostic dan Status Screen**

Screen diagnostic menyediakan informasi detail untuk troubleshooting dan system health monitoring.

#### **Communication Status:**

- Modbus connection status (Connected/Disconnected)
- Communication error count dan last error timestamp
- Response time statistics (min/max/average)

#### **System Health Indicators:**

- EEPROM write count dan health percentage
- Memory usage ESP8266 (stack/heap)
- System uptime dan last restart timestamp
- Temperature monitoring (jika tersedia sensor)

#### **Alarm and Event Log:**

- Active alarms dengan priority level
- Alarm history dengan timestamp
- System events log (startup, parameter change, errors)
- Acknowledgment status untuk setiap alarm

### 3.2.4 Navigasi Menu Structure

Struktur menu dirancang hierarkis dengan maximum 3 level depth untuk mencegah operator lost dalam navigasi yang complex.

#### Menu Hierarchy:



#### Navigation Controls:

- Home button untuk return ke main dashboard
- Back button untuk previous screen
- Context-sensitive soft keys
- Touch screen navigation dengan visual feedback

## 3.3 Pengaturan Kontrol

Sistem kontrol menggunakan algoritma PID dengan kemampuan switching antara mode manual dan otomatis sesuai kebutuhan operasional.

### 3.3.1 Mode Kontrol Otomatis

Mode otomatis menggunakan PID controller untuk maintain setpoint DO dengan output control yang smooth dan responsive.

#### Prinsip Kerja PID Control:

- **Proportional:** Respons proporsional terhadap error saat ini
- **Integral:** Eliminasi steady-state error melalui akumulasi error
- **Derivative:** Antisipasi trend error untuk stability

### PID Calculation Formula:

Error = Setpoint - Process\_Variable

P\_term =  $K_p \times \text{Error}$

I\_term =  $K_i \times \int \text{Error} \, dt$

D\_term =  $K_d \times d(\text{Error})/dt$

Output = P\_term + I\_term + D\_term

### Auto Mode Operation:

1. Sistem calculate error antara setpoint dan actual DO
2. PID algorithm menghasilkan output frequency (20-40 Hz)
3. Output di-convert ke PWM signal (0-255) untuk VFD control
4. VFD mengatur kecepatan motor aerator sesuai command
5. Sensor feedback untuk closed-loop control

### Auto Mode Settings:

- **Setpoint:** Target DO value (default 2.5 ppm)
- **Control Period:** Loop execution interval (1 second)
- **Output Limits:** Min 20 Hz, Max 40 Hz untuk motor protection
- **Anti-Windup:** Integral limit untuk prevent overshooting

### 3.3.2 Mode Kontrol Manual

Mode manual memberikan operator full control terhadap motor frequency tanpa intervention dari PID controller.

### Manual Mode Operation:

1. Operator set desired frequency via HMI input (20-40 Hz)
2. System bypass PID calculation
3. Direct conversion ke PWM output untuk VFD
4. Motor beroperasi pada frequency yang di-set operator
5. Monitoring DO tetap aktif untuk operator awareness

### Manual Mode Safety Features:

- Frequency limiting tetap aktif (20-40 Hz)
- High/low DO alarm tetap berfungsi
- Emergency stop capability
- Auto-return ke previous frequency jika communication loss

### 3.3.3 Switching Mode Operasi

Transition antara auto dan manual mode dilakukan dengan bumpless transfer untuk mencegah sudden change pada motor operation.

### Auto-to-Manual Transition:

1. Capture current PID output sebagai manual setpoint

2. Disable PID calculation loop
3. Switch ke manual control dengan same frequency
4. Enable manual input interface pada HMI

**Manual-to-Auto Transition:**

1. Pre-load PID controller dengan current manual output
2. Reset integral term untuk prevent windup
3. Enable PID calculation dengan smooth transition
4. Monitor initial response untuk stability

**Mode Selection pada HMI:**

- Toggle button dengan clear visual indication
- Current mode status prominently displayed
- Confirmation dialog untuk mode changes
- Mode change logged dalam system events

### **3.4 Monitoring dan Data Logging**

Sistem monitoring menyediakan real-time data visualization dan historical data logging untuk analisis performance dan compliance reporting.

#### **3.4.1 Real-Time Data Monitoring**

Real-time monitoring menampilkan parameter kritis dengan update rate yang memadai untuk operator awareness dan quick response terhadap abnormal conditions.

**Parameter yang Dimonitor:**

- **DO Sensor Value:** 0.1 ppm resolution, update setiap 30 detik
- **Motor Frequency:** 0.1 Hz resolution, update setiap detik
- **System Status:** Communication, alarms, control mode
- **Performance Metrics:** PID error, output variation, stability index

**Display Format:**

- Numeric display dengan unit engineering yang jelas
- Color coding: Green (normal), Yellow (warning), Red (alarm)
- Trend indicators (increasing/decreasing/stable)
- Last update timestamp untuk data freshness verification

#### **3.4.2 Alarm Management**

System alarm memberikan notifikasi langsung kepada operator ketika parameter operasi berada di luar kondisi normal atau acceptable range.

**Alarm Priorities:**

- **Critical:** Sensor failure, communication loss, system error
- **High:** DO extreme values, motor protection trips
- **Medium:** Parameter deviation, maintenance due

- **Low:** Information messages, status changes

#### Alarm Configuration:

DO High Alarm: >6.0 ppm (adjustable)  
 DO Low Alarm: <1.0 ppm (adjustable)  
 Communication Timeout: >5 seconds  
 Sensor Error: Invalid reading atau out-of-range  
 Motor Protection: Frequency limit exceeded

#### Alarm Presentation:

- Visual indication dengan flashing red background
- Audio beep dengan different patterns per priority
- Alarm banner pada top of semua HMI screens
- Alarm summary screen dengan details dan timestamp

### 3.4.3 Historical Data dan Trend Analysis

Historical data logging memungkinkan analisis performance jangka panjang dan compliance documentation untuk regulatory requirements.

#### Data Logging Specification:

- **Sample Rate:** 1 minute interval untuk normal operation
- **Storage:** Local EEPROM dan HMI internal memory
- **Retention:** 30 days local, longer term via external backup
- **Parameters Logged:** DO value, frequency output, alarms, mode changes

#### Trend Display Options:

- **Short Term:** Last 1 hour dengan 1-minute resolution
- **Medium Term:** Last 24 hours dengan 5-minute average
- **Long Term:** Last 7 days dengan 1-hour average
- **Custom Range:** User-selectable start/end time

#### Data Export Capabilities:

- CSV format export via USB port pada HMI
- Manual export trigger dari HMI menu
- Automatic daily export (jika configured)
- Data format includes timestamp, values, units, status flags

### 3.4.4 Performance Analysis Tools

Built-in analysis tools membantu operator dan engineer dalam evaluasi system performance dan optimization opportunities.

#### Analysis Metrics:

- **Control Stability:** Standard deviation of DO measurements
- **Response Time:** Step response karakteristik dari setpoint changes

- **Energy Efficiency:** Average motor frequency vs DO maintenance
- **Availability:** System uptime percentage dan downtime causes

#### **Report Generation:**

- Daily operation summary dengan key performance indicators
  - Weekly trend report dengan statistical analysis
  - Monthly compliance report untuk regulatory submission
  - Exception report untuk out-of-specification events
- 

#### **Informasi Dokumen:**

- Versi Dokumen: 1.0
- Tanggal Rilis: Juli 2025
- Disusun oleh: Divisi Engineering
- Disetujui oleh: Technical Director
- Nomor Dokumen: TD-WWTP-DO-003