

Disain Piranti Digital Perekam Paras Air Otomatis Menggunakan Teknologi Rendah Daya

M.S. Hendriyawan Achmad¹, Satyo Nuryadi², Wira Fadlun³

^{1,2,3}Fakultas Teknologi Informasi & Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Teknologi Yogyakarta

Email : hendriyawanachmad@uty.ac.id

Abstrak

Parameter hidrologi merupakan bahan pengamatan untuk memetakan potensi bencana alam yang berhubungan dengan air, seperti banjir dan tanah longsor. Salah satu parameter hidrologi yang dipantau adalah ketinggian permukaan air sungai. Pengamatan tradisional menggunakan metode bilah ukur yang memiliki akurasi rendah dan membutuhkan pengamatan secara visual. Penelitian ini menawarkan rancangan piranti perekam digital rendah daya untuk pemantauan tinggi permukaan air dengan resolusi bacaan sebesar 10mm dan rata-rata konsumsi energi hanya sebesar 20 μ W. Teknologi rendah daya yang ditawarkan terdiri dari dua bagian, perangkat keras yang menawarkan model teknologi pico-power yang dikendalikan oleh pengendali mikro jenis 8-bit, sedangkan perangkat lunak menjalankan fungsi rendah daya dengan operasi dasar sleep-wake up. Hasil analisis menunjukkan bahwa piranti perekam digital dengan catu tegangan utama 3.6V dan daya 2200mAH mampu beroperasi selama 3.7 tahun dengan nilai cut-off sumber energi diasumsikan serendah 60% dan rata-rata konsumsi arus listrik sebesar 2 μ A.

Kata kunci: *Piranti perekam digital; rendah daya; ketinggian permukaan air; hidrologi*

Abstract

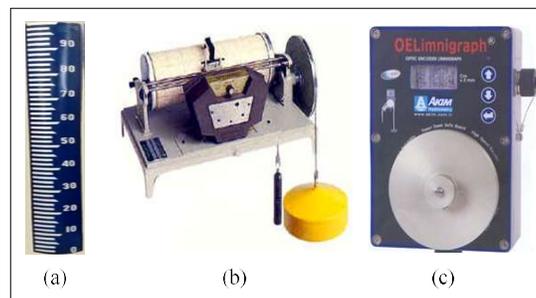
Hydrological parameters are used as observation material to map the potential for natural disasters related to water, such as floods and landslides. One of the hydrological parameters monitored is the water level of the river. Traditional observation uses the measuring blade method which has low accuracy and requires visual observation. This research offers a low-power digital recording device design for monitoring the water level with a reading resolution of 10mm and an average energy consumption of only 20 μ W. The low-power technology offered consists of two parts, the hardware which offers a pico-power technology model which is controlled by an 8-bit type micro controller, while the software performs a low-power function with basic sleep-wake up operation. The results of the analysis show that the digital recording device with a mains supply voltage of 3.6V and a power of 2200mAH is capable of operating for 3.7 years with the cut-off value of energy sources assumed to be as low as 60% and an average consumption of 2 μ A of electric current.

Keywords: *Digital recording device, low power, water level, hydrology*

1. PENDAHULUAN

Bencana hidrologi sudah sering terjadi pada 10 tahun terakhir. Hal ini karena adanya banyak kerusakan alam yang terjadi dan berubahnya iklim dunia saat ini. Hutan yang sudah gundul tidak mampu lagi menahan air hujan berintensitas tinggi yang mengakibatkan terjadinya banjir dan longsor. Para peneliti bekerja keras untuk mempelajari respon alam karena adanya kerusakan dan perubahan iklim. Salah satu pemantauan para peneliti yaitu parameter hidrologi, dan fenomena yang paling mudah terlihat adalah fluktuasi tinggi muka air (TMA) kawasan perairan [1][2], seperti: sungai waduk, embung, dan danau.

Pemantauan tinggi muka air bisa dilakukan dengan beberapa cara. Cara umum yang sering dijumpai adalah dengan melihat langsung papan duga (*peilschaal*). Gbr. 1 menunjukkan contoh instrumen ukur ketinggian permukaan air yang umum digunakan.



Gambar 1. Instrumen hidrologi untuk pengukuran ketinggian paras air. (a) papan duga. (b) alat pencatat manual. (c) piranti perekam digital otomatis.

Namun cara ini memiliki beberapa kelemahan, yaitu akurasi bacaan yang rendah karena hanya menggunakan garis-garis skala dengan rentang yang besar, serta sulit untuk mendapatkan data dengan jumlah yang besar karena peneliti harus berada dilokasi sepanjang waktu untuk melakukan pengamatan secara visual. Untuk mengatasi kelemahan tersebut diperlukan sistem elektronik digital yang bisa mencatat secara otomatis perubahan tinggi muka air sepanjang waktu tanpa berhenti dan memiliki akurasi pengukuran hingga orde centimeter, secara umum disebut dengan piranti perekam tinggi muka air otomatis (*Automatic Water Level Recorder – AWLR*) [3].

2. STUDI PUSTAKA

Piranti perekam digital secara ideal harus mampu beroperasi pada durasi yang panjang dalam bilangan bulan atau tahun menggunakan catu daya mandiri. Masalah yang umum dijumpai pada perekam data digital adalah kemampuan beroperasi dalam durasi yang lama dan kemampuan penyimpanan data besar secara permanen. Penelitian ini akan membahas dua hal. Pertama, mengenai perancangan sistem perekam digital yang rendah konsumsi daya listrik sehingga mampu beroperasi pada waktu yang relatif panjang. Kedua, disain antarmuka sensor untuk membaca fluktuasi paras air yang memiliki akurasi 1 cm [4].

Piranti perekam digital dikendalikan oleh sebuah pengendali mikro. Saat ini, pengendali mikro yang mendukung konsep rendah daya atau dikenal sebagai piranti *pico-power* mudah untuk diperoleh [5][6]. Konsep rendah daya dapat dilihat dari dua

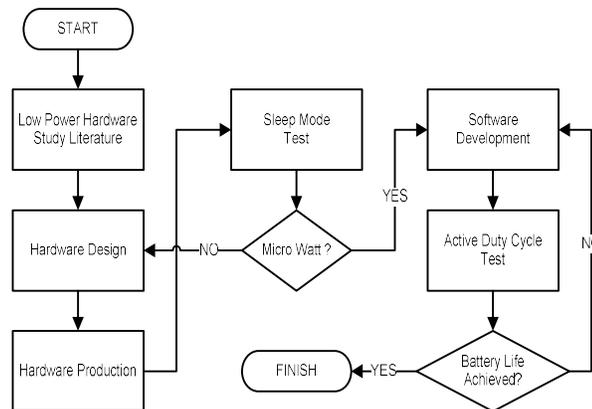
sisi, yaitu sisi perangkat keras dan sisi perangkat lunak. Perangkat keras rendah konsumsi daya akan membatasi pemakaian arus listrik hingga order mikro ampere (μA). Sedangkan perangkat lunak akan mengatur durasi operasional pengendali mikro meliputi durasi aktif (*wake up*) dan durasi tidak aktif (*sleep*), sehingga diperoleh kombinasi terbaik untuk mendapatkan konsumsi daya listrik dalam orde mikro watt (μW).

Beberapa penelitian terkait dengan perancangan piranti perekam digital rendah daya sudah dilakukan sebelumnya. M. Clifford dari *Freescale Semiconductor* melakukan penelitian mengenai pengembangan sistem piranti perekam digital tinggi muka air menggunakan prinsip tekanan hidrostatik berbasis piranti pengendali mikro yang rendah daya (*low power*) dan berharga murah (*low cost*). Sensor tekanan yang diteliti adalah MPXM2010GS dengan pengendali mikro produksi Motorola MC68HC908QTA. Berdasarkan percobaan yang dilakukan sistem ini memiliki resolusi pengukuran tinggi muka air sebesar 20 mm. Hasil yang diperoleh adalah disain pengukur tinggi muka air sederhana dengan total biaya pembuatan yang murah dan bisa diterapkan pada banyak aplikasi cerdas untuk otomatisasi pengisian air [7]. Digvijay Singh et.al membuat aplikasi jaringan sensor nirkabel menggunakan konsep *sleep – wake up* pada perangkat lunak pengendali mikro agar konsumsi dayanya rendah. Penelitian ini menyajikan rincian studi beberapa pengendali mikro komersial sebagai pembandingan untuk merancang sistem dengan efisiensi energi yang tinggi. Menerapkan teknik rancangan sinkron yang konvensional seperti pewaktu dan merampingkan rancangan perangkat keras [8]

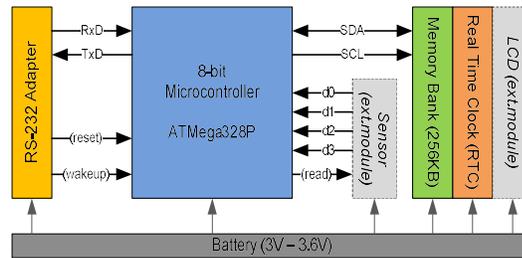
3. METODE

3.1 Alur Penelitian

Penelitian dijalankan berdasarkan alur rencana yang sudah dibuat. Alur penelitian digunakan untuk menentukan *stepping stone* agar kemajuan penelitian dapat dievaluasi secara mudah. Gambar 2 menunjukkan alur yang digunakan sebagai dasar pelaksanaan aktifitas penelitian.



Gambar 2. Alur penelitian selama periode percobaan yang didahului dengan pengembangan perangkat keras kemudian dilanjutkan pengembangan perangkat lunak.

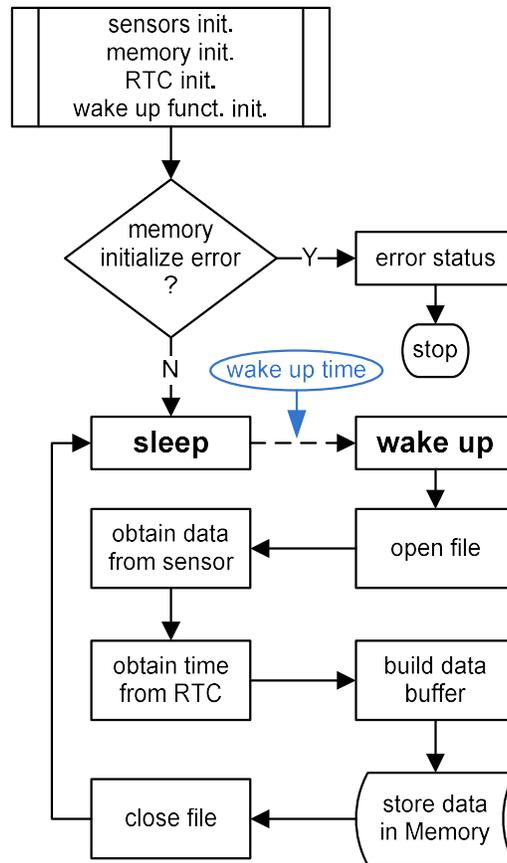


Gambar 3. Model sistem perekam digital berbasis piranti pengendali mikro 8-bit yang mendukung mode *pico power*

3.2 Model Sistem Perekam Digital

Penelitian ini menghasilkan konsep rancangan baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Rancangan perangkat keras meliputi pemilihan komponen piranti perekam digital yang rendah daya. Sedangkan rancangan perangkat lunak mencakup fungsi-fungsi pendaya gunaan perangkat keras, antara lain: pembacaan sensor, penyimpanan data, protokol komunikasi, dan siklus kerja. Gbr. 3 menunjukkan model sistem perekam digital yang diusulkan. Catu daya utama diperoleh dari baterai tegangan rendah yang akan menjamin operasional perekam digital pada mode hemat energi. Piranti *real time clock* (RTC), *Flash Memory*, dan *liquid crystal display* (LCD) menggunakan bus komunikasi yang sama yaitu I²C (*Inter Integrated Circuit*) dalam rangka mengurangi jumlah bus komunikasi data agar lebih sederhana. Komunikasi data tak sinkron dengan komputer memanfaatkan bus serial RS-232 dalam rangka pengaturan fungsi kerja piranti perekam dan untuk keperluan pengambilan data. Sedangkan tombol operasional digunakan untuk menampilkan informasi secara manual melalui penampil LCD tanpa terhubung dengan komputer. Rancangan perangkat keras tersebut tidak mungkin mampu menjalankan mode hemat energi tanpa didukung oleh rancangan perangkat lunak.

Perangkat lunak bersinergi dengan perangkat keras untuk menjalankan operasi mode hemat energi. Konsep yang dijalankan oleh perangkat keras adalah *minimum active duty cycle* [9], dimana rasio antara periode aktif (*wake up*) terhadap periode tidur (*sleep*) dibuat sekecil mungkin agar penggunaan energi listrik dari sumber baterai bisa diturunkan serendah mungkin, karena di sini lah tujuan utama penelitian ini. Gbr. 4 menunjukkan alur kerja perangkat lunak yang mendukung perangkat keras untuk menjalankan mode operasi rendah daya.



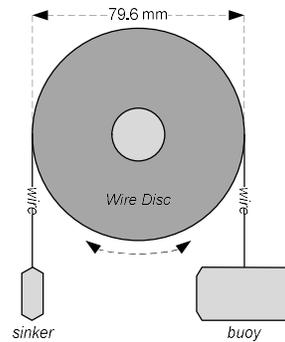
Gambar 4. Alur kerja perangkat lunak pengendali mikro untuk mengatur proses antarmuka dengan piranti elektronik lain.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

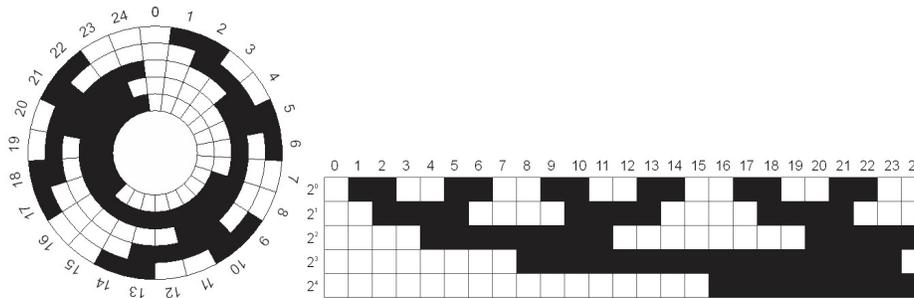
4.1 Disain Sensor Tinggi Muka Air

Sensor adalah salah satu bagian sangat penting pada sebuah instrumentasi ukur. Tidak hanya rendah konsumsi daya, namun juga harus akurat dan presisi. Jenis sensor yang digunakan untuk mengukur ketinggian muka air adalah jenis optis, yaitu menggunakan pasangan pemancar dan penerima spektrum cahaya infra merah (IR). Pemancar berupa *light emitting diode* (LED) yang khusus memancarkan spektrum infra merah yang memiliki panjang gelombang antara 700 nm – 1 μ m, sedangkan penerima berupa Photo Transistor yaitu transistor yang peka terhadap cahaya (baik spektrum cahaya tampak maupun infra merah).

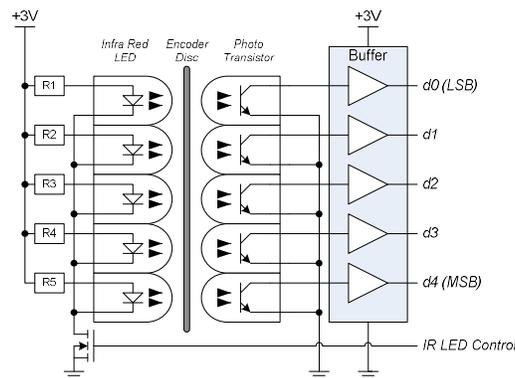
Teknik pengukuran tinggi muka air pada penelitian ini seperti ditunjukkan oleh Gbr. 5 yaitu menggunakan sensor jenis pelampung yang menerapkan konsep penyandian (*encoding*) berbasis kode gray [10]. Implementasi penyandian gray pada piringan penyandi (*encoder disc*) ditunjukkan oleh Gbr. 6 dengan masukan 5-bit sehingga memiliki kombinasi maksimal sebesar $2^5 = 32$, namun tidak semua kombinasi digunakan karena menyesuaikan ketelitian ukur dari sensor tinggi muka air, yaitu hanya 25 kombinasi.



Gambar 5. Konsep pengukuran tinggi muka air menggunakan teknik pelampung.



Gambar 6. Kombinasi kode gray pada sensor jenis optical rotary encoder.



Gambar 7. Sistem elektronik sensor yang digunakan sebagai antarmuka digital piringan penyandi terhadap pengendali mikro.

Ketelitian sensor yang diharapkan adalah 10 mm, sehingga diameter piringan sebagai penghubung antara pemberat (*sinker*) dan pelampung (*buoy*) dirancang dengan diameter 79.6 mm agar mendapatkan lintasan keliling sepanjang 250 mm seperti yang ditunjukkan oleh Gbr. 5. Jika jumlah kombinasi kode gray adalah 25 dan panjang lintasan satu putaran penuh adalah 250 mm, maka ketelitian ukur sensor adalah 10 mm untuk setiap langkah perubahan kombinasi kode gray seperti yang direncanakan.

Gbr. 7 menunjukkan rancangan antarmuka elektronis untuk membaca kombinasi kode gray oleh piranti pengendali mikro. Konsep rendah konsumsi daya juga diterapkan pada rancangan ini yaitu dengan mengendalikan hidup dan mati LED infra merah menggunakan sinyal kendali terprogram dari mikrokontroler melalui saklar semikonduktor (*solid state relay*). Dengan kata lain, LED akan

diaktifkan dalam periode yang sesingkat mungkin, yaitu hanya pada saat akan membaca piringan penyandi saja, selebihnya dalam kondisi off. Untuk menjamin kualitas output digital dari *photo transistor* maka digunakan piranti *buffer* jenis MOSFET, yang sangat sensitif terhadap perubahan input sehingga menghasilkan output yang stabil. Pemilihan jenis *buffer* didasarkan atas dua hal, yaitu memiliki *input propagation time* yang kecil dan mampu beroperasi dengan catu tegangan rendah. Resistor (R_n) berfungsi selain untuk membatasi arus pada LED (20 mA nominal) juga membatasi konsumsi energi berlebih. Total daya (P_{total}) yang digunakan oleh keseluruhan LED bisa dihitung dengan rumus yang ditunjukkan Persamaan 1 berikut ini.

$$P_{total} = V \times \sum_{i=1}^n \left(\frac{V}{R_i} \right) \text{ (watt)} \quad (1)$$

Dengan V adalah tegangan operasional catu daya utama (*battery*), n adalah jumlah LED yang digunakan, dan R_i adalah nilai resistansi untuk setiap LED yang terpasang. Semakin besar nilai resistansi maka semakin kecil daya yang digunakan untuk emisi infra merah, namun konsekwensinya adalah semakin pendek jarak emisi IR sehingga jarak antara LED dan *photo transistor* harus semakin dekat.



Gambar 8. Purwarupa sensor pengukur tinggi muka air jenis pelampung yang menggunakan konsep penyandian putar.

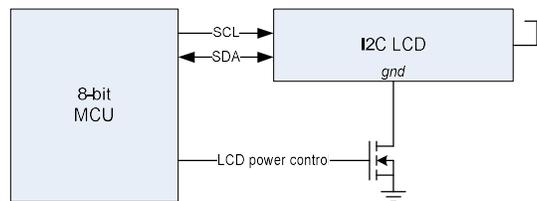
Gbr. 8 menunjukkan purwarupa sensor pengukur tinggi muka air jenis pelampung seperti yang ditunjukkan oleh Gbr. 5. Kelebihan dari sensor jenis optis adalah tidak adanya potensi gesekan selama proses pengukuran seperti yang terjadi pada jenis potensiometer atau penyandi putar mekanis, sehingga sensor jenis optis memiliki usia pemakaian (*lifetime*) yang relatif lebih panjang.

Unit pengendali utama adalah sub-unit perangkat keras berupa sistem elektronik yang menangani seluruh operasi piranti perekam digital, antara lain: akuisisi sensor, pewaktuan, penyimpanan data, komunikasi tak sinkron, dan layanan pengaturan piranti. Modul ini tidak hanya berisi piranti pengendali namun juga terdapat piranti lain yaitu memori luar (*eprom*), *real time clock* (RTC), dan UART RS-232. Gbr. 9 menggambarkan konfigurasi sistem. Terdapat tiga modul yang menggunakan bus komunikasi I₂C secara bersama (*share bus*), yaitu modul memori, pewaktu RTC, dan modul LCD. Dengan menggunakan bus komunikasi yang sama selain mengurangi jumlah *fan in* dan *fan out* pengendali mikro juga menyederhanakan jalur komunikasi antar modul. Sedangkan pada modul komunikasi UART RS-232 terdapat jalur komunikasi *serial full duplex* dan jalur kendali oleh PC (DTR) yang bisa digunakan untuk update firmware pengendali mikro

atau sebagai keluaran sinyal *wake up* dari PC untuk membangunkan pengendali mikro dari kondisi tidur (*low power mode*).



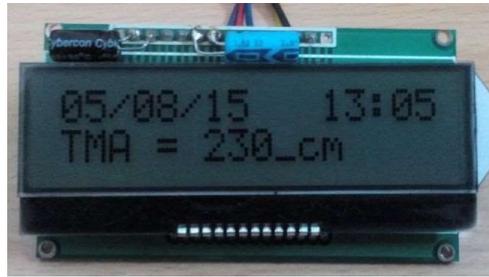
Gambar 9. Purwarupa sistem elektronik pengendali utama piranti perekam digital rendah daya.



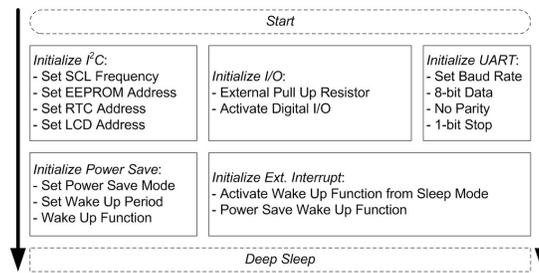
Gambar 10. Konfigurasi antarmuka elektronik pengendali mikro dengan piranti penampil LCD.

Pengendali utama memiliki kapasitas memori sebesar 256 KB (*Kilo Byte*) dan jika diasumsikan setiap paket data terdiri dari 7 Byte (tanggal, bulan, tahun, jam, menit, TMA_{high} , TMA_{low}) maka memori mampu menyimpan hingga 36571 data. Apabila penerapan metode kompresi data bisa dilakukan maka total kapasitas memori bisa ditingkatkan. Fungsi penampil pada piranti perekam digital hanya sebatas untuk mendukung operasi pengaturan parameter perekaman secara manual melalui tombol operasional. Di luar fungsi tersebut penampil dalam kondisi tidak aktif (*off*) dan bisa digantikan dengan komputer yang terkoneksi melalui komunikasi serial UART RS-232. Operasi pengaturan secara manual adalah alternatif pengaturan piranti perekam tanpa menggunakan PC, misalkan saat instalasi dilapangan yang tidak memungkinkan membawa komputer. Piranti penampil bisa digunakan untuk menyatakan secara visual nilai-nilai apapun yang berhubungan dengan data, antara lain informasi waktu, nilai pengukuran, maupun informasi terkait parameter pengaturan sistem (misal: interval ukur, nilai kalibrasi, identitas, dll). Gbr. 10 menunjukkan konfigurasi antarmuka pengendali mikro dengan LCD. Pengendali mikro menyampaikan informasi visual melalui bus komunikasi serial I²C, dan juga mampu mengendalikan catu daya menuju LCD dalam rangka operasi rendah daya.

Secara normal, piranti LCD memiliki konsumsi daya yang cukup besar sehingga piranti ini tidak bisa digunakan pada mode rendah daya. Selain itu keperluan penampil LCD hanya bersifat sesaat, yaitu saat diperlukan untuk pengaturan parameter perekaman melalui tombol operasional. Gbr. 11 menunjukkan fungsi MOSFET sebagai saklar daya untuk piranti LCD, sehingga saat penampil visual tidak diperlukan maka suplai energi ditiadakan.



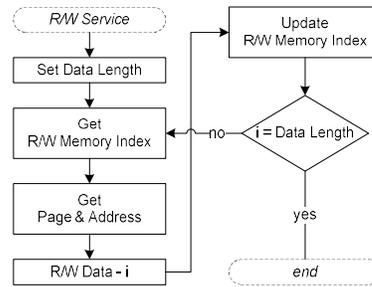
Gambar 11. Purwarupa penampil LCD pada piranti perekam digital.



Gambar 12. Alur inisialisasi fungsi perangkat keras oleh perangkat lunak pada pengendali mikro.

Pengendali mikro bekerja berdasarkan perangkat lunak yang ditanamkan ke dalam memori internal. Perangkat lunak mengendalikan seluruh operasional perangkat keras elektronik baik digital maupun analog pada piranti perekam, dan dikenal dengan istilah *firmware*. Antarmuka pengendali mikro dengan komponen lainnya memiliki algoritma perangkat lunak yang berbeda-beda sesuai dengan pola aliran data yang dimiliki oleh masing-masing bagian. Gbr. 3 telah menunjukkan 3 jenis antarmuka pada pengendali mikro, yaitu: komunikasi serial UART, komunikasi serial I²C, dan masukan parallel. Berbeda jenis antarmuka maka berbeda pula layanan perangkat lunaknya. Perangkat lunak melakukan inisialisasi fungsi yang akan dijalankan oleh perangkat keras seperti yang dideskripsikan oleh Gbr. 12. Inisialisasi bertujuan untuk mengatur konfigurasi fasilitas yang dimiliki oleh pengendali mikro agar mendukung operasi rendah daya. Tahap inisialisasi perangkat lunak dilakukan di setiap awal perangkat keras beroperasi sesaat setelah mendapatkan sumber energi.

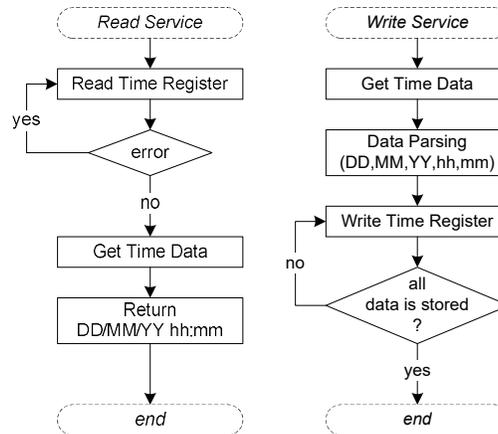
Memori merupakan bagian utama dari perekam digital untuk menyimpan data hasil pengukuran setiap interval tertentu. Jenis memori yang digunakan adalah jenis *non-volatile* sehingga memerlukan waktu penyimpanan yang relatif lebih lama jika dibandingkan dengan memori jenis *volatile*. Sehingga untuk mendukung konsep rendah konsumsi daya maka waktu penyimpanan dibuat secepat mungkin, dan semakin pendek paket data yang akan disimpan maka semakin cepat pula durasi penyimpanan, dan semakin sedikit total energi yang digunakan.



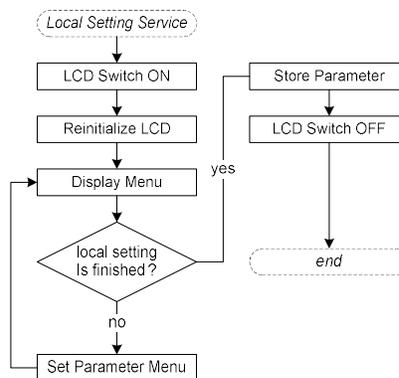
Gambar 13. Alur perangkat lunak untuk mengakses memori eksternal EEPROM.

Akses memori terbagi menjadi dua bagian, yaitu akses baca memori (*read*) dan akses tulis memori (*write*). Ada tiga hal yang perlu diperhatikan selama akses memori yaitu *R/W memory index*, *memory page*, dan *memory address*. *R/W memory index* menyimpan cacahan sekuensial tiap-tiap byte data yang akan dibaca atau yang sudah ditulis pada seluruh area memori. *Memory page* adalah pengelompokan memori berdasarkan jumlah fisik piranti memori yang digunakan, pada purwarupa sistem pengendali utama menggunakan 4 piranti memori EEPROM sehingga kapasitas setiap page = $Total\ Memory\ Index / 4$, dengan asumsi setiap piranti memori memiliki kapasitas yang sama. Sedangkan *memory address* adalah indek pengalamatan memori untuk setiap page yang dimulai dari 0 hingga ke-*n* yang menampung 8-bit data untuk tiap-tiap alamat, misal memori dengan kapasitas 1024-bit maka memiliki memory address dari mulai dari 0 sampai dengan 128 ($=1024/8$). Gbr. 13 menunjukkan alur baca dan tulis memori dengan menerapkan metode pengalamatan yang terstruktur dan tidak banyak menyita waktu komputasi.

Fungsi utama data sebuah piranti perekam digital adalah mencatat fluktuasi pengukuran sensor pada setiap interval tertentu dan berbasis waktu (*time stamp*). Artinya data yang tersimpan pada memori terdiri dari data hasil pengukuran dan juga data waktu yang terdiri dari: tanggal-bulan-tahun-jam-menit. Akses terhadap RTC menggunakan bus komunikasi serial I²C, begitu juga akses pada piranti memori dan penampil, namun masing-masing memiliki alamat yang berbeda dan unik. Gbr. 14 menunjukkan cara akses register waktu piranti RTC. Informasi waktu diperoleh dengan mengakses langsung register waktu yang memberikan data secara sekuensial, yaitu: hari-tanggal-bulan-tahun-jam-menit-detik. Semakin tinggi *clock* yang dijalankan pada bus SCL komunikasi I²C maka semakin cepat pula informasi diperoleh. Pada penelitian ini menggunakan detak komunikasi serial I²C sebesar 100 MHz.



Gambar 14. Alur perangkat lunak untuk akses piranti pewaktu nyata (*real time clock*).

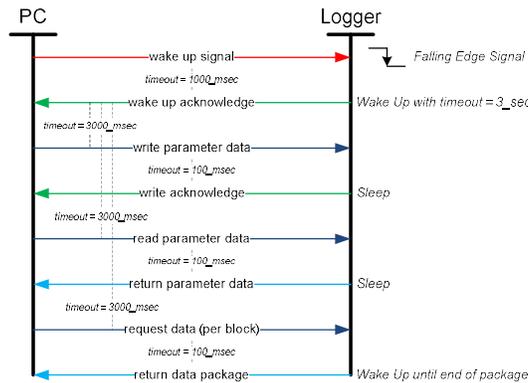


Gambar 15. Alur perangkat lunak untuk mengakses penampil LCD.

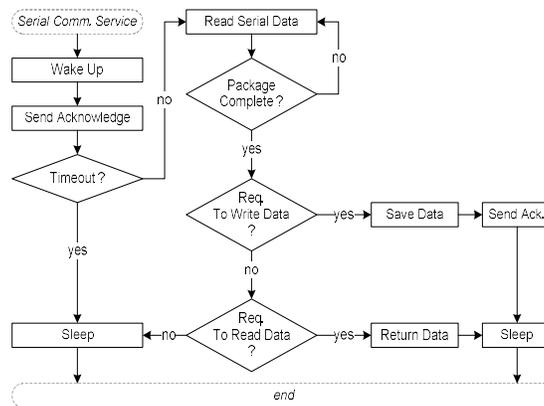
Perangkat lunak selain melakukan antarmuka komunikasi data serial I²C dengan penampil juga melakukan pengendalian catu daya melalui komponen saklar semi konduktor seperti yang ditunjukkan oleh Gbr. 10. Secara *default*, kondisi penampil adalah *off (low power mode)* kecuali jika ada permintaan *on* pada saat terjadi akses tombol operasional yang terdiri dari *UP*, *DOWN*, *ENTER*. Permintaan penampil *on* hanya bisa dilakukan oleh tombol *ENTER* yang akan memicu interupsi eksternal dan membangunkan pengendali mikro dari kondisi tidur (*power down*). Gbr. 15 menunjukkan alur perangkat lunak pengendali mikro untuk akses penampil LCD pada mode rendah daya. Parameter perekaman yang diatur antara lain: waktu, nilai referensi, interval penyimpanan data, nomor identitas, mode kerja, dan tingkat kerawanan. Nilai parameter diatur menggunakan tombol operasi dan ditampilkan melalui LCD. Setelah proses pengaturan selesai pengendali mikro kembali dalam kondisi tidur.

Akses komunikasi data serial bertujuan dua hal, pertama untuk pengaturan nilai parameter rekaman sama seperti pada pengaturan secara lokal melalui tombol operasional namun tidak melibatkan piranti LCD. Dan kedua adalah pengambilan data hasil pengukuran yang tersimpan pada memori berdasarkan indek memori yang tersimpan. Namun terdapat teknik khusus agar komunikasi bisa berjalan dua arah, hal ini karena secara default piranti perekam dalam kondisi tidur (*power down*) sehingga harus dibangunkan terlebih dahulu. Konfigurasi antarmuka perangkat

keras yang ditunjukkan oleh Gbr. 3 menyatakan terdapat sinyal *wake up* dari PC untuk membangunkan piranti perekam sebelum terjadi komunikasi serial secara sinkron. Gbr 16 menerangkan bahwa terdapat tiga tujuan komunikasi data serial, yaitu mengatur nilai parameter, membaca nilai parameter, dan membaca data yang tersimpan. Namun sebelumnya harus didahului dengan mengirimkan sinyal oleh PC untuk membangunkan piranti perekam. Sinyal yang diberikan oleh PC berupa *falling edge signal* yang akan memicu layanan interupsi eksternal pengendali mikro.



Gambar 16. Pola komunikasi sinkron antara PC dan piranti perekam digital.

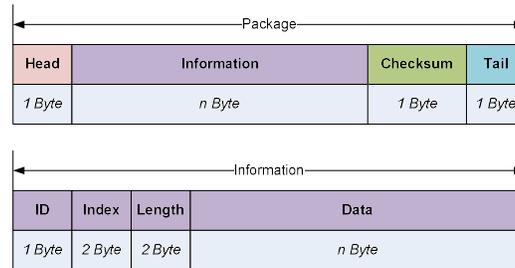


Gambar 17. Alur perangkat lunak untuk melayani komunikasi serial sinkron dengan PC.

Berdasarkan Gbr. 17, nilai *timeout* untuk membatasi waktu tunggu, sehingga piranti perekam kembali menuju kondisi sleep jika memang tidak ada lagi permintaan layanan dari luar. Sedangkan paket data serial yang diterima memiliki format khusus yang akan dibahas pada bagian setelah ini, yaitu mengandung identitas yang dapat membedakan apakah paket data tersebut adalah permintaan PC untuk menulis data/parameter pada logger atau membaca data/parameter yang tersimpan di piranti perekam. Pada kasus permintaan membaca data rekaman yang tersimpan pada memori kemungkinan akan memberikan paket data yang berulang blok demi blok berdasarkan total data yang tersimpan.

Agar PC dan piranti perekam digital bisa saling memahami komunikasi satu sama lain maka perlu dibuat protokol komunikasi yang baku, sederhana namun handal. Konsep protokol komunikasi yang digunakan menganut kaidah KISS (*keep it simple stupid*) yang menggunakan format sederhana tanpa menerapkan metode

koreksi kesalahan seperti metode *Reed Solomon* [11] atau *Hamming* [12]. Penelitian ini hanya menerapkan *checksum error* sebagai deteksi kesalahan paket data berbasis logika gerbang XOR [13].



Gambar 18. Format protokol komunikasi data antara piranti perekam digital dengan PC.

Gbr. 18 menunjukkan format data transmisi yang menjadi protokol komunikasi serial antara PC dengan piranti perekam digital. *Head* adalah nilai 1-Byte untuk menandakan awal dari suatu paket data, sedangkan *Tail* adalah nilai 1-Byte untuk menandakan akhir dari suatu paket data. Sehingga *Head* dan *Tail* dapat digunakan sebagai indikator validitas paket data yang diterima [14]. Sedangkan *Checksum* digunakan untuk mendeteksi kesalahan informasi yang diterima, karena sangat mungkin terjadinya gangguan transmisi yang mengakibatkan kerusakan data berupa *bit drop* maupun *bit flip*. *ID* adalah nilai identitas agar bisa diketahui identitas pengirim. *Index* adalah nilai urutan (*sequential*) informasi yang dikirim secara berulang, misal pada saat pengambilan data dalam jumlah besar pada memori piranti perekam. PC akan menyusun secara urut setiap paket yang telah diterima berdasarkan nomor indeks tersebut. Jika informasi hanya sekali pengiriman maka *Index* = 0, misal pada permintaan baca/tulis informasi parameter. *Length* adalah jumlah total Byte data yang akan dikirimkan, umumnya digunakan sebagai validitas untuk memastikan ada atau tidaknya data yang hilang. Sedangkan *Data* merupakan bagian utama yang berisi pesan penting, yaitu parameter logger atau hasil pengukuran yang tersimpan pada memori piranti perekam.

Metode *checksum error* cukup sederhana yaitu menggunakan logika XOR 8-bit dari informasi yang diterima, sehingga dengan membandingkan *checksum* yang dikirim oleh PC dengan *checksum* hasil kalkulasi oleh pengendali mikro bisa diketahui ada atau tidaknya kesalahan informasi. Sedangkan *checksum error* bisa dihitung menggunakan Persamaan 2 berikut ini.

$$error = X_0 \oplus X_1 \oplus X_2 \oplus \dots \oplus X_{n-1} \tag{2}$$

X adalah 1-Byte data informasi dan *n* adalah jumlah total Byte informasi. Semua Byte informasi diterapkan operasi XOR yang menghasilkan 1-Byte *checksum*. Jika terjadi kesalahan transmisi pada satu atau beberapa Byte informasi maka akan menghasilkan nilai *checksum* hasil kalkulasi yang berbeda dengan nilai *checksum* yang disertakan dalam paket data, dan jika tidak terjadi perbedaan artinya paket data terkirim dengan sempurna.

Tabel 1. Struktur transmisi data informasi yang digunakan sebagai format baku protokol komunikasi.

ID	Node	Topic	Index	
0xa1	PC to Logger	Write Parameter Data	0x00	0x00
0xa2		Request Parameter Data	0x00	0x00
0xa3		Request Data Logging	0x00 - 0xff	0x00 - 0xff
0xb1	Logger to PC	Wake Up Acknowledge	0x00	0x00
0xb2		Write Acknowledge	0x00	0x00
0xb3		Return Parameter Data	0x00	0x00
0xb4		Return Log Data	0x00 - 0xff	0x00 - 0xff

Tabel 2. Struktur transmisi data parameter yang digunakan sebagai format baku pengaturan kerja piranti perekam digital oleh PC.

	Value		Unit	Length
Status	0x00	Inactive	-	1 Byte
	0xff	Active		
Device ID	0x0000 - 0xffff			2 Byte
Time Stamp	<i>Date</i>	0x01 - 0x1f		1 Byte
	<i>Month</i>	0x01 - 0x0c		1 Byte
	<i>Year</i>	0x00 - 0x63		1 Byte
	<i>Hour</i>	0x00 - 0x17		1 Byte
	<i>Minute</i>	0x00 - 0x3b	1 Byte	
Reference Level	0x0000 - 0xffff		<i>cm</i>	2 Byte
Interval	0x01 - 0xff		<i>minute</i>	1 Byte
<i>Total Byte Length</i>				<i>11 Byte</i>

Berdasarkan Tbl. 1, nilai *ID* bersifat unik yang menunjukkan *node* dan *topic* komunikasi. Sedangkan nilai *index* digunakan untuk menentukan urutan proses berulang yang berisi nilai antara 0x00 – 0xff, dengan kata lain maksimal paket data yang bisa diterima PC adalah $2^{16} = 65536$ total paket data.

Informasi yang ditransmisikan secara sinkron antara PC dengan piranti perekam digital mengandung data seperti yang ditunjukkan oleh Gbr. 18. Data itu sendiri terbagi menjadi dua jenis, yaitu data parameter dan data pengukuran. Data parameter berhubungan dengan nilai parameter perekaman yang dibaca dari atau ditulis pada piranti perekam digital. Sedangkan data pengukuran berhubungan dengan nilai pembacaan tinggi muka air oleh sensor berdasarkan waktu. Gbr. 19 menunjukkan format baku data yang menjadi salah satu bagian informasi yang ditransmisikan PC/piranti perekam digital. Format data baca/tulis parameter piranti perekam mengikuti kaidah yang ditunjukkan oleh Gbr. 19(a) yang terdiri dari status, nomor identitas, waktu, nilai referensi, dan interval penyimpanan. Sedangkan format paket data pengukuran yang diunduh dari piranti perekam mengikuti kaidah seperti yang ditunjukkan oleh Gbr. 19(b).

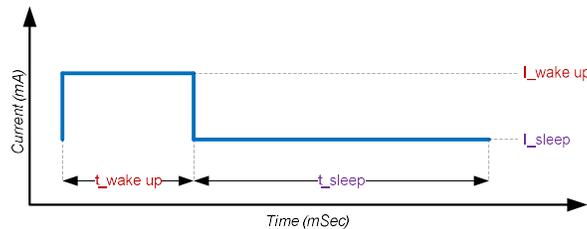
Data									
Status	Device ID	Time Stamp					Reff. Level		Interval
		Date	Month	Year	Hour	Minute	High	Low	
1 Byte	2 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte

(a)

Data						
Time Stamp					Water Level	
Date	Month	Year	Hour	Minute	High	Low
1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte

(b)

Gambar 19. Struktur data penyusun informasi. (a) Struktur data parameter. (b) struktur data pengukuran.



Gambar 20. Rasio antara periode mode aktif dan mode tidur dari piranti perekam digital selama operasi rendah daya.

Format data pengukuran dirancang untuk setiap 1 unduhan paket data hanya terdiri dari 1 periode penyimpanan. Secara teori tidak ada batasan jumlah periode penyimpanan dalam 1 paket data, namun semakin lebar data pada setiap paket maka semakin besar pula resiko kerusakan data selama transmisi. Jika 1 paket data hanya berisi 1 periode simpan data maka lebar data hanya sebesar 7 Byte saja. Lebar data yang kecil juga memiliki kelebihan, antara lain: resiko kerusakan selama transmisi semakin kecil, cocok untuk transmisi telemetry yang memiliki lebar pita (*bandwith*) rendah (misal: SMS, RF ASK/FSK), dan komputasi *checksum error* juga semakin ringan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Konsumsi Energi

Prinsip kerja purwarupa piranti perekam digital pada penelitian ini memang dirancang dalam mode diskrit dalam rangka penghematan konsumsi daya. Selama beroperasi terdapat dua mode, yaitu mode aktif (*wake up*) dan mode tidur (*sleep*) seperti yang ditunjukkan oleh Gbr. 20. Rasio waktu aktif terhadap total waktu satu siklus dirancang sekecil mungkin, berbanding terbalik dengan waktu tidurnya yang dibuat sebesar mungkin.

Kalkulasi konsumsi energi mode diskrit berbeda dengan mode kontinyu. Pada mode diskrit terdapat nilai arus dari dua kondisi yang berbeda, yaitu saat

kondisi aktif dan saat kondisi tertidur. Sehingga dalam 1 siklus kita bisa melakukan estimasi nilai konsumsi arus listrik menggunakan pendekatan *active duty cycle* seperti yang ditunjukkan oleh Gbr. 20. Sehingga secara matematis arus konsumsi rata-rata (I_{AVG}) bisa dihitung menggunakan Persamaan 3 berikut ini.

$$I_{AVG} = \frac{(I_{wake_up} * T_{wake_up}) + (I_{sleep} * T_{sleep})}{Sampling\ Interval} \quad (3)$$

Sehingga bisa diketahui daya rata-rata yang digunakan dalam satu siklus (P_{AVG}) menggunakan Persamaan 4 berikut ini.

$$P_{AVG} = I_{AVG} * V_{battery} \quad (4)$$

Usia hidup piranti perekam dihitung berdasarkan nilai arus rata-rata (I_{AVG}) dan kapasitas catu daya ($C_{Battery}$). Perlu diingat bahwa pada catu daya jenis baterai juga mengalami penurunan kapasitas secara alamiah disebabkan faktor kebocoran diri (*internal leakage*) atau karena faktor suhu [15].

Tabel 3. Data hasil pengamatan konsumsi arus listrik oleh piranti perekam digital pada mode *wake up* dan *sleep*.

Status	Activity	Period (mS)	Current (mA)
Wake Up	<i>Access Sensor</i>	0.55	10
	<i>Access RTC</i>		
	<i>Data Processing</i>		
Sleep	<i>Power Down</i>	8000	0.005

4.2. Analisis Usia Baterai

Karakteristik penurunan alamiah baterai berbeda-beda sesuai dengan jenisnya. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa rentang suhu pengamatan adalah 25°C – 40°C yang memberikan kapasitas efektif baterai (K) sebesar 90%. Sehingga usia baterai ($L_{Battery}$) bisa diperkirakan menggunakan Persamaan 5 berikut ini.

$$L_{Battery} = \frac{C_{Battery}}{I_{AVG}} \times K \quad (5)$$

Usia baterai ($L_{Battery}$) dalam satuan *hour*, dan kapasitas baterai dalam satuan *ampere hour* (AH). Pada penelitian ini dilakukan percobaan menggunakan baterai jenis AA berbahan *Alkaline* dengan kapasitas nominal 2200 mAH dan tegangan kerja 3 Volt. Tbl. 3 di atas menyajikan data hasil pengamatan konsumsi arus listrik piranti perekam untuk periode *sleep* selama 8 detik. Berdasarkan hasil uji coba seperti yang ditunjukkan oleh Tbl. 3 kita bisa memperkirakan arus konsumsi rata-rata (I_{AVG}) dan usia baterai ($L_{Battery}$) berdasarkan Persamaan 3 dan 5, yaitu:

$$I_{AVG} = \frac{(10 * 0.55) + (0.005 * 8000)}{(0.55 + 8000)} = 0.00569 \text{ mA}$$

$$L_{Battery} = \frac{2200}{0.005687109} \times 90\% = 348155.8$$

Nilai usia baterai hasil kalkulasi adalah 348155.8 jam atau sama dengan 39.7 tahun. Hasil kalkulasi menunjukkan nilai yang cukup fantastis. Namun perlu diingat bahwa hasil hitungan ini tidak 100% sesuai dengan kenyataan saat piranti perekam digital dipasang di lokasi yang memiliki tingkat suhu dan kelembaban yang

tinggi. Semakin tinggi suhu dan kelembaban udara disekitar baterai maka usia baterai akan semakin berkurang, dan ditambah lagi dengan penurunan kapasitas baterai karena faktor kebocoran diri (*self leakage*). Tbl. 4 berikut menyajikan estimasi usia baterai dengan variasi nilai *power duty cycle* dan nilai efektifitas baterai.

Tabel 4. Simulasi estimasi usia baterai berdasarkan variasi nilai *power duty cycle* dan variasi nilai efektifitas catuan daya baterai.

Periode (mS)		Current (mA)			Battery Lifetime (Year)					
T _{active}	T _{sleep}	I _{active}	I _{sleep}	I _{AVG}	40%	50%	60%	70%	80%	90%
0.55	250	10	0.005	0.027	3.7	4.7	5.6	6.5	7.5	8.4
0.55	500	10	0.005	0.016	6.3	7.9	9.4	11.0	12.6	14.1
0.55	1000	10	0.005	0.010	9.6	12.0	14.4	16.8	19.1	21.5
0.55	2000	10	0.005	0.008	13.0	16.2	19.4	22.7	25.9	29.2
0.55	4000	10	0.005	0.006	15.8	19.7	23.6	27.6	31.5	35.5
0.55	8000	10	0.005	0.006	17.7	22.1	26.5	30.9	35.3	39.7

Tabel 5. Hasil perbandingan antara pengaturan interval pembacaan oleh sensor terhadap nilai kelajuan perubahan paras air maksimal.

Interval Pengukuran Sensor (mS)	Frekuensi Pengukuran Sensor (Hz)	Laju Perubahan Paras Air Maksimal* (mm/detik)
250	4	1000
500	2	500
1000	1	250
2000	0.5	125
4000	0.25	62.5
8000	0.125	31.25

* dihitung berdasarkan keliling piringan sensor = 250 mm

Periode *sleep* selain menentukan usia baterai juga menentukan respons pengukuran piranti perekam digital terhadap laju bacaan satu putaran penuh piringan sensor. Semakin pendek interval pembacaan sensor maka kemampuan merespon fluktuasi paras air oleh piranti perekam semakin baik, misal saat pengukuran paras air yang bergelombang. Untuk perairan yang bergelombang lebih baik menggunakan periode pembacaan sensor yang pendek, namun akan mengurangi usia baterai secara signifikan. Tbl. 5 menyajikan hasil perbandingan antara interval pembacaan sensor dengan laju perubahan tinggi muka air maksimal yang bisa dideteksi oleh piranti perekam digital.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi estimasi usia baterai yang disajikan oleh Tbl. 4, nilai efektifitas catuan daya baterai yang digunakan oleh piranti perekam digital sangat berpengaruh secara signifikan terhadap usia operasional baterai. Sehingga sistem elektronik piranti perekam digital sebaiknya dirancang agar terlindung dari pengaruh suhu dan kelembaban tinggi agar tidak terjadi penurunan kapasitas baterai secara cepat yang juga akan mempercepat usia operasional piranti perekam di lapangan. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Tbl. 4 menunjukkan bahwa meskipun piranti perekam digital menerapkan interval pengukuran paling cepat ($T_{\text{sleep}} = 250 \text{ mS}$) dan diasumsikan nilai efektifitas catuan baterai hanya 40%, usia baterai masih relatif panjang yaitu sekitar 3.7 tahun dengan kapasitas baterai 2200 mAH.

Perlindungan sistem elektronik piranti perekam digital dari nilai suhu dan kelembaban lingkungan luar yang ekstrim bisa dilakukan dengan menerapkan teknologi bahan yang kedap terhadap variasi suhu (*adiabatic*) dan menempatkan material untuk menurunkan tingkat kelembaban ruang dimana sistem elektronik terpasang, misal material *silica gel*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai sepenuhnya oleh Hibah Penelitian DIPA KOPERTIS Wilayah V Tahun Anggaran 2015 dengan nomor: SP. DIPA-042.2.400059.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] S. W. Lo, J. H. Wu, F. P. Lin, and C. H. Hsu, "Visual sensing for urban flood monitoring," *Sensors (Switzerland)*, vol. 15, no. 8, pp. 20006–20029, 2015.
- [2] J. Zhang, C. Zhou, K. Xu, and M. Watanabe, "Flood disaster monitoring and evaluation in China," *Environ. Hazards*, vol. 4, no. 2–3, pp. 33–43, 2002.
- [3] I. G. L. M. Parwita, "EVALUASI KINERJA AUTOMATIC WATER LEVEL RECORDER (AWLR) TUKAD MATI," *MATRIX - J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 6, no. 3, pp. 143–147, 2016.
- [4] X. Ying, Z. Bing, L. Yong, and P. Xuange, "The Automatic Monitoring Device of Ground water Level Based on Embedded Systems," in *Proceedings of the 2009 International Symposium on Information Processing (ISIP'09)*, 2009, vol. 2, no. December.
- [5] Microchip Technology, "ATmega324P/V: AVR Microcontroller with Core Independent Peripherals and picoPower Technology," 2018.
- [6] A. M. Holberg and A. Saetre, "Innovative Techniques for Extremely Low Power Consumption with 8-bit Microcontrollers," 2006.
- [7] M. Clifford, "Water Level Monitoring," *Freescale Semiconductor Application Note AN1950 Rev 4*. pp. 1–24, 2006.

- [8] D. Singh, S. Prashanth S., S. Kundu, and A. Pal, “Low-power microcontroller for wireless sensor networks,” in *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 2009, pp. 1–6.
- [9] Z. Albus and A. Valenzuela, “Ultra-Low Power Comparison: MSP430 vs. Microchip XLP Tech Brief A Case for Ultra-Low Power Microcontroller Performance,” 2005.
- [10] R. W. Doran, “The Gray Code,” *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 11, pp. 1573–1597, 2007.
- [11] L. van de Pavert, “Reed-Solomon Encoding and Decoding: A Visual Representation,” 2011.
- [12] J. Fiedler, “Hamming Codes,” 2004.
- [13] T. C. Maxino and P. J. Koopman, “The effectiveness of checksums for embedded control networks,” *IEEE Trans. Dependable Secur. Comput.*, vol. 6, no. 1, pp. 59–72, 2009.
- [14] J. Feng and Y. Ding, “Design and Implementation of Embedded Serial Communication Based on Finite State Machine,” *Int. J. Hybrid Inf. Technol.*, vol. 8, no. 9, pp. 25–32, 2015.
- [15] P. Zhang, J. Liang, and F. Zhang, “An Overview of Different Approaches for Battery Lifetime Prediction,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 199, no. 1, 2017.