

SISTEM KENDALI PEMOMPAAN DRAINASE TAMBANG BAWAH TANAH SECARA OTOMATIS

Oleh : Agus Yulianto, S.T., M.KKK.

Widyaiswara Muda

ABSTRAK

Air didalam kegiatan penambangan merupakan suatu masalah tersendiri yang membutuhkan penanganan secara serius, baik pada sistim tambang terbuka maupun pada tambang bawah tanah. Bila tidak ditangani secara tepat, air yang ada didalam tambang dapat mengganggu kegiatan penambangan, sehingga target produksi tidak tercapai. Untuk mendukung operasional pertambangan diperlukan penaganan air yang ada di dalam tambang bawah tanah. Adapun metode yang digunakan yaitu metode drainase dengan saluran dan metode drainase dengan pemipaan dan pemompaan, yang mana metode dengan saluran dan metode pemipaan adalah sama, yang akan bermuara pada sump (sumuran) yang berfungsi untuk mengumpulkan dan menampung sementara air yang ada, yang kemudian akan dipompakan keluar tambang. Khususnya di tambang bawah tanah, untuk efisiensi dan efektifitas dalam operasional penambangan dibatasi oleh jumlah pekerja yang diperlukan sesuai dengan peralatan yang digunakan, yang mana juga dituntut untuk tetap menjaga kondisi terowongan (tambang bawah tanah) dari air yang akan mengenang dan menutupi kalau tidak dikelola. Air akan terkumpul dalam sump (sumuran) dan harus segera dipompakan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem kendali pemompaan drainase tambang bawah tanah secara otomatis untuk membantu efektifitas dan efisiensi operasional pertambangan bawah tanah, dan sistem kendali pemompaan drainase tambang bawah tanah secara manual, sebagai cadangan operasional apabila terjadi kegagalan pada sistem otomatisnya.

Kata Kunci : sistem kendali, drainase tambang bawah tanah, pemompaan.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bahan-bahan tambang yang keterdapatannya dipermukaan atau dekat dengan permukaan tanah dapat diambil dengan cara tambang terbuka, sedangkan bahan tambang yang keterdapatannya di dalam bumi jauh dari permukaan tanah, pengambilannya dapat dilakukan dengan cara tambang dalam atau tambang bawah tanah. Pada tambang bawah tanah, pengambilan bahan galian dilakukan dengan

membuat lubang bukaan yang menghubungkan permukaan tanah menuju endapan bahan tambang berada. Pembuatan lubang bukaan ini juga memotong peralapisan tanah/batuan yang mungkin juga lapisan batuan permeabel yang mengandung air.

Air didalam kegiatan penambangan merupakan suatu masalah tersendiri yang membutuhkan penanganan secara serius, baik pada sistim tambang terbuka maupun pada tambang bawah tanah. Bila tidak ditangani secara tepat, air yang ada didalam tambang dapat mengganggu kegiatan penambangan, sehingga target produksi tidak tercapai.

Untuk itulah dalam mendukung operasional pertambangan diperlukan penanganan air yang ada di dalam tambang bawah tanah, atau sering kita sebut dengan drainase tambang, yaitu usaha untuk mengeluarkan air yang ada di dalam tambang, sehingga aktifitas penambangan tidak terganggu. Adapun metode yang digunakan yaitu metode drainase dengan saluran dan metode drainase dengan pemipaan dan pemompaan, yang mana metode dengan saluran dan metode pemipaan adalah sama, yang akan bermuara pada sump (sumuran) yang berfungsi untuk mengumpulkan dan menampung sementara air yang ada., yang kemudian akan dipompakan keluar tambang.

Disamping itu operasional pertambangan, khususnya tambang bawah tanah, diperlukan beberapa peralatan–peralatan tambang yang dioperasikan oleh orang yang berkompeten di peralatan tersebut. Dan karena keterbatasan ruang operasional, maka untuk efisiensi dan efektifitas dalam operasionalnya dibatasi oleh pekerja yang diperlukan sesuai dengan peralatan yang digunakan, yang mana juga dituntut untuk tetap menjaga kondisi terowongan (tambang bawah tanah) dari air yang akan mengenang dan menutupi kalau tidak dikelola. Air akan terkumpul dalam sump (sumuran) dan harus segera dipompakan. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem

kendali pemompaan drainase tambang bawah tanah secara otomatis untuk membantu efektifitas dan efisiensi operasional pertambangan bawah tanah, dan sistem kendali pemompaan drainase tambang bawah tanah secara manual, sebagai cadangan operasional apabila terjadi kegagalan pada sistem otomatisnya.

Identifikasi dan Rumusan Masalah

Pengelolaan air dari tambang bawah tanah melalui sistem drainase dilakukan dengan metode pembuatan saluran dan pemipaan yang mana akan bermuaran pada sump (sumuran), dan kemudian dipompakan keluar tambang. Pemompaan air dilakukan apabila sump (sumuran) sudah penuh secara manual dengan menekan tombol operasi pompa, dan ini menjadi tidak efektif dan efisien, karena pekerja pun juga bekerja untuk operasional peralatan, sehingga sump (sumuran) akan berakibat menjadi meluap. Operasi otomatisasi diperlukan untuk pengelolaan air dari sump (sumuran), yaitu dengan merancang bangun sistem kendali listrik secara otomatis untuk operasional pompa. Berdasarkan identifikasi masalah yang telah diuraikan sebelumnya, dapat diambil perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan kendali listrik pemompaan drainase tambang bawah tanah?
2. Bagaimana prinsip kerja rancangan kendali listrik pemompaan drainase tambang bawah tanah?

Metode Penulisan

Metode yang digunakan dalam penyusunan makalah ini adalah studi literatur, yaitu mengumpulkan beberapa literatur yang ada. Bahan tersebut kemudian dipelajari dan dianalisa untuk mendapatkan jawaban dari perumusan masalah dalam tulisan ini.

Beberapa bahan tulisan sengaja dikutip langsung dari sumbernya dan yang lain menjadi bahan pemikiran dalam penyusunan tulisan ini.

2. KAJIAN TEORI

Metode Drainase Tambang Bawah Tanah

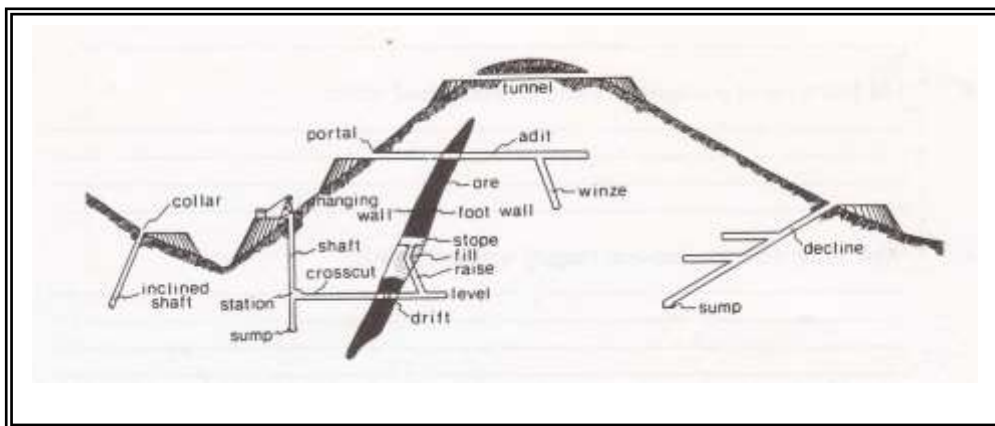
Tujuan daripada drainase tambang bawah tanah adalah untuk mengeluarkan air yang ada di dalam tambang, sehingga aktifitas penambangan tidak terganggu. Pengeluaran air dari dalam tambang ini dapat dilakukan dengan beberapa sistem drainase yaitu metode drainase dengan saluran dan metode drainase dengan pemompaan dan pemipaan.

Faktor yang menentukan pemilihan metode drainase tambang bawah tanah adalah elevasi lokasi tambang terhadap kolam pembuangan air yang ada di permukaan ataupun diluar tambang. Apabila lokasi tambang lebih tinggi dari pada kolam pembuangan air maka drainase dapat memanfaatkan gaya gravitasi dan dipilih metode drainase dengan saluran. Drainase dengan saluran banyak diterapkan pada tambang bawah tanah yang melakukan pengembangan dengan membuat adit dan beroperasi pada lokasi yang lebih tinggi dari daerah di sekitarnya. Sistem penambangan seperti ini dapat mengumpulkan air pancar yang ada di lorong tambang dan mengalirkannya keluar tambang hanya dengan saluran saja tanpa memerlukan fasilitas mesin dan tenaga penggerak.

Metode drainase air tanpa memerlukan fasilitas mesin dan tenaga penggerak seperti diatas adalah hal yang sangat diharapkan, akan tetapi pada kenyataannya banyak lokasi tambang yang elevasinya lebih rendah dari pada kolam pembuangan air yang ada di luar tambang, sehingga diperlukan fasilitas mesin dan tenaga penggerak. Air dari sumber-sumber yang ada di dalam tambang akan mengalir menuju lokasi yang

elevasinya lebih rendah, sehingga pada lokasi-lokasi yang elevasinya rendah tersebut perlu dibuat suatu sumuran (*sump*) yang berfungsi untuk mengumpulkan dan menampung sementara air yang ada. Pembuangan air dari sumuran-sumuran yang ada di dalam tambang menuju kolam pembuangan air di luar tambang dilakukan dengan pemompaan melalui rangkaian pipa-pipa baja.

Tujuan pembuatan sumuran lainnya adalah untuk mengendapkan lumpur yang bercampur air dan untuk menempatkan pipa isap pompa serta untuk melakukan penyetaraan jumlah air yang dikumpulkan dan jumlah air yang dikeluarkan oleh pompa. Dimensi sumuran pada umumnya adalah 1m-2m x 1m-2m dengan kedalaman antara 2m-3m. Penentuan posisi sumuran sendiri biasanya didasarkan pada kontur struktur tambang bawah tanah yaitu pada posisi terendah dari lorong tambang seperti di dasar shaft, akan tetapi ada juga yang dibuat ditengah-tengah level ataupun cross cut bila memang hal tersebut dibutuhkan sehubungan dengan kemampuan pompa yang ada.



Gambar 1 Posisi sumuran didalam lorong tambang

Hal-hal yang perlu menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan letak dan kapasitas sumuran adalah :

- a. Untuk memperpendek dan mengurangi belokan pipa isap, sedapat mungkin letak sumuran dekat dengan kedudukan pompa.

- b. Tidak menghalangi kemajuan penambangan karena memindahkan lokasi sumuran berkali-kali berarti tidak ekonomis.
- c. Dibuat di tempat yang mudah untuk pengumpulan air di dalam tambang bawah tanah dan berada pada batuan.
- d. Kapasitas sumuran dibuat sedemikian rupa sehingga sesuai dengan pompa reguler yang tersedia.
- e. Perubahan jumlah air pancar di dalam tambang bawah tanah (menurut musim hujan dan musim kering).
- f. Kelonggaran/toleransi terhadap gangguan pemompaan air bila terhenti, misalnya karena mati listrik dan kerusakan fasilitas.

Untuk mengantisipasi berkurangnya kapasitas efektif sumuran yang disebabkan oleh pengendapan tanah lumpur yang tercampur di dalam air tambang bawah tanah, maka perlu ditempatkan pompa tanah lumpur untuk menjaga kapasitas efektif sumuran tersebut, dengan senantiasa melakukan penyingkiran tanah lumpur. Salah satu tindakan yang dapat diambil adalah membuat sumuran lain untuk pengendapan tanah lumpur agar memudahkan penyingkiran tanah lumpur.

Untuk menyelaraskan kapasitas pompa dengan jumlah air yang akan dibuang serta kapasitas sumuran, maka perlu diketahui jumlah air yang akan masuk kedalam sumuran tersebut. Jumlah air yang masuk kedalam sumuran ini dapat diketahui dari pengukuran debit air. Pengukuran debit air dapat dilakukan dengan memakai tanki pengukuran, dimana biasanya digunakan drum minyak. Pengukuran dilakukan dengan menampung air pada drum tersebut dan diukur waktunya hingga air penuh, atau dapat juga beberapa drum yang dipenuhi dalam selang waktu tertentu.

Sistem Kendali Listrik

Pengertian kendali atau pengaturan adalah proses atau upaya untuk mencapai tujuan. Sebagai contoh sederhana dan akrab dengan aktivitas sehari-hari dari konsep kendali atau pengaturan adalah saat mengendarai kendaraan. Tujuan yang diinginkan dari proses tersebut adalah berjalannya kendaraan pada lintasan (*track*) yang diinginkan. Ada beberapa komponen yang terlibat di dalamnya, misalnya pedal gas, *speedometer*, mesin (penggerak), rem, dan pengendara.

Sistem kendali berkendara berarti kombinasi dari komponen-komponen tersebut yang menghasilkan berjalannya kendaraan pada lintasan yang diinginkan. Ketika jalan lengang dan aturan memperbolehkan, pengendara mempercepat laju kendaraan dengan membuka pedal gas. Demikian pula, jika ada kendaraan lain di depan atau lampu penyeberangan berwarna merah maka pengendara menginjak rem dan menurunkan kecepatannya. Semua upaya itu dilakukan untuk mempertahankan kendaraan pada lintasan yang diinginkan.

Dalam teknik kendali dipelajari tentang pengaturan sistem agar menghasilkan keluaran yang diinginkan. Komponen utama sistem kontrol terdiri atas objek yang dikontrol (disebut *plant*), variabel (besaran) yang dikontrol, dan aktuator. Tabel 1 memperlihatkan contoh sistem control dengan komponen-komponennya. Misalnya *plant* berupa motor listrik, maka variabel yang dikontrol adalah kecepatan dan aktuatornya adalah kontaktor.

Tabel 1
Contoh Komponen Sistem Kendali

Plant	Variabel yang dikendalikan	Aktuator
Motor Listrik	Kecepatan Putar	Kontaktor
Generator	Tegangan	Transistor
Pengatur Suhu Ruangan	Suhu	Thyristor

Untuk memudahkan melihat proses pengaturan yang berlangsung dalam sistem kendali, dibuat diagram blok yang menggambarkan aliran informasi dan komponen yang terlibat dalam sistem kendali tersebut.

Ada dua bentuk umum sistem kendali:

1. Sistem Kendali Lingkar-terbuka (*Open-Loop Control System*).
2. Sistem Kendali Lingkar-tertutup (*Closed-Loop Control System*) atau sistem kendali dengan umpan balik (*Feedback Control System*).

Dalam bentuk diagram blok sistem kendali lingkar-terbuka (SKL-buka) digambarkan pada gambar 2. Dalam diagram blok tersebut, plant (objek yang dikendalikan) menghasilkan variable yang dikendalikan serta kontroler menghasilkan variabel termanipulasi. Gambar kotak mewakili tiap komponen dalam sistem kendali, sedangkan aliran informasi diperlihatkan dengan garis dengan tanda anak panah di salah satu ujungnya yang menandakan arah informasi atau data dalam proses pengaturan tersebut.



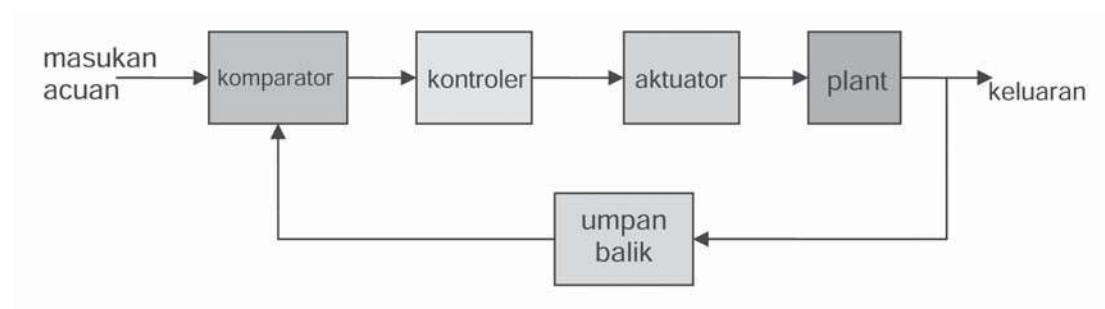
Gambar 2 Diagram blok sistem kendali open-loop

Sistem kendali lingkar-terbuka adalah sistem yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengaturan. Dengan kata lain, dalam sistem ini keluarannya tidak diukur ataupun diumpanbalikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Contoh praktis sistem ini adalah mesin cuci. Perendaman, pencucian, dan penyabunan dalam mesin cuci beroperasi berdasarkan waktu yang ditentukan oleh pengguna. Mesin tidak mengukur kondisi sinyal keluaran berupa kebersihan pakaian. Dalam sistem tersebut, keluaran tidak dibandingkan dengan masukan acuan, sehingga masukan acuan berhubungan dengan kondisi operasi

(*operating condition*) yang tetap. Akibatnya ketelitian system sangat bergantung kepada kalibrasi. Dalam hal adanya gangguan, sistem kendali lingkaran-terbuka tidak akan menunjukkan hasil yang diharapkan. Sistem kendali ini dapat digunakan dalam praktik hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak ada gangguan.

Untuk sistem kendali lingkaran-tertutup, nilai keluaran berpengaruh langsung terhadap aksi pengaturan. Sinyal selisih (*error*) yaitu perbedaan antara masukan acuan dan sinyal umpan balik diberikan kepada kontroler sedemikian sehingga dalam prosesnya memperkecil selisih dan menghasilkan keluaran sistem pada harga atau kondisi yang diinginkan. Sistem kendali lingkaran tertutup dalam kenyataannya selalu merujuk kepada sistem yang menggunakan umpan balik untuk mengurangi error sistem.

Diagram blok sistem kendali lingkaran-terbuka (SKL-buka) digambarkan pada gambar 3.



Gambar 3 Diagram blok sistem kontrol closed-loop

Keuntungan dari sistem kontrol lingkaran-tertutup terlihat dari penggunaan umpan balik yang membuat respon sistem tidak terlalu peka (*sensitif*) terhadap gangguan luar ataupun perubahan nilai-nilai komponen dalam sistem. Hal tersebut memungkinkan penggunaan komponen yang tidak akurat dan murah untuk mewujudkan pengendalian yang akurat untuk suatu *plant*. Dari sisi kestabilan, sistem kontrol lingkaran-terbuka relatif lebih mudah dibuat karena kestabilan system bukan masalah utama. Di lain pihak, kestabilan menjadi masalah besar dalam sistem control lingkaran-tertutup karena penanganan *error* yang berlebihan bisa menyebabkan osilasi. Sistem kontrol ini

bermanfaat apabila ada gangguan yang bersifat sukar ditentukan atau diramalkan, tetapi biasanya sistem kontrol lingkaran tertutup juga memerlukan daya dan biaya yang relatif lebih besar dibandingkan dengan sistem kontrol lingkaran-terbuka yang disesuaikan.

3. PEMBAHASAN

Perancangan Kendali Listrik Otomatisasi Pemompaan Untuk Drainase Tambang Bawah Tanah Menggunakan Pelampung

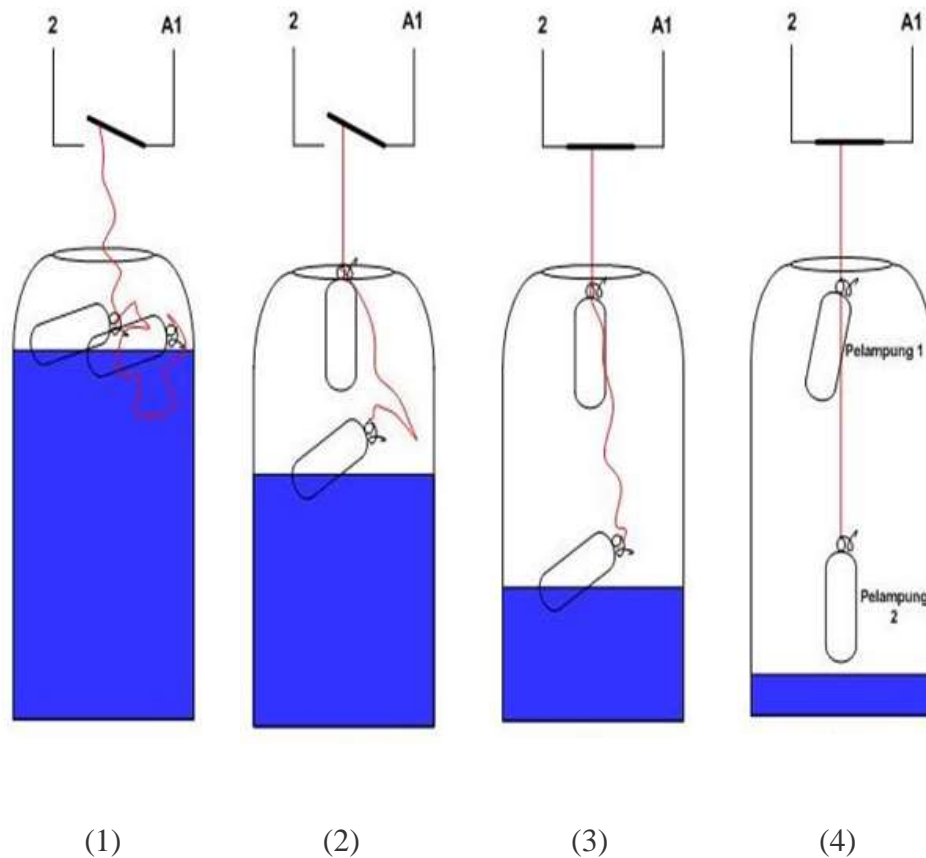
Perancangan sistem kendali listrik pemompaan ini dapat disebut juga dengan istilah Perancangan Rangkaian *Water Level Control* atau yang sering disingkat dengan *WLC* atau rangkaian kendali level air merupakan salah satu aplikasi dari rangkaian konvensional dalam bidang tenaga listrik yang diaplikasikan pada motor listrik khususnya motor induksi untuk pompa air.

Fungsi dari Rangkaian *Water Level Control* adalah untuk mengontrol level air dalam sumuran (*sump*) yang terdapat dalam pertambangan bawah tanah di mana pada level tertentu motor listrik atau pompa air akan beroperasi dan pada level tertentu juga pompa air akan mati. Untuk mengontrol level air dalam sumuran (*sump*) dapat menggunakan dua buah pelampung yang mana masing-masing dari pelampung tersebut menentukan batas atas dan batas dari level air.

Jadi operasional pompa air, dengan mengaplikasikan Rangkaian *Water Level Control* pada pompa air yang digunakan, sehingga pekerja tambang tidak perlu menunggu hanya untuk mematikan pompa air pada sumuran (*sump*) karena apabila air dalam sumuran (*sump*) sudah berkurang maka pompa akan padam dengan sendirinya tanpa harus menekan tombol stop. Demikian juga apabila air dalam sumuran (*sump*) mulai penuh sesuai dengan batas yang telah ditentukan maka pompa akan jalan dengan sendirinya. Dengan demikian pekerja tambang dapat melakukan kegiatan yang lain

yang lebih berguna, misalnya pekerjaan penggalian terowongan dan pekerjaan tambang lainnya.

Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 4. Bekerjanya sebuah pelampung pada sebuah Rangkaian *Water Level Control* adalah sebagai berikut :



Gambar 4 Prinsip Kerja Pelampung

Pada kondisi (1) dianggap bahwa untuk pertama beroperasi air di sumuran (*sump*) seperti yang terlihat pada gambar. Dengan keadaan yang demikian, maka otomatis Pelampung 1 yang difungsikan sebagai batas atas air dan Pelampung 2 yang difungsikan sebagai batas bawah akan terapung pada sebuah tali pelampung sehingga menyebabkan kontak pelampung yang berada di antara 2 dan A1 akan membuka karena gaya berat dari kedua pelampung. Akibatnya, motor pompa air akan beroperasi.

Ketika pompa air mulai memompakan air maka pelampung 2 akan menggantung ke bawah atau terapung seperti yang terlihat dalam gambar pada kondisi (2). Meskipun pelampung 2 tetap terapung, kontak pelampung tetap pada posisi open, pabrik sudah merancang dengan sedekian rupa sehingga hal demikian bisa terjadi, pelampung 1 masih mampu untuk membuka kontak pelampung sehingga pompa tetap beroperasi.

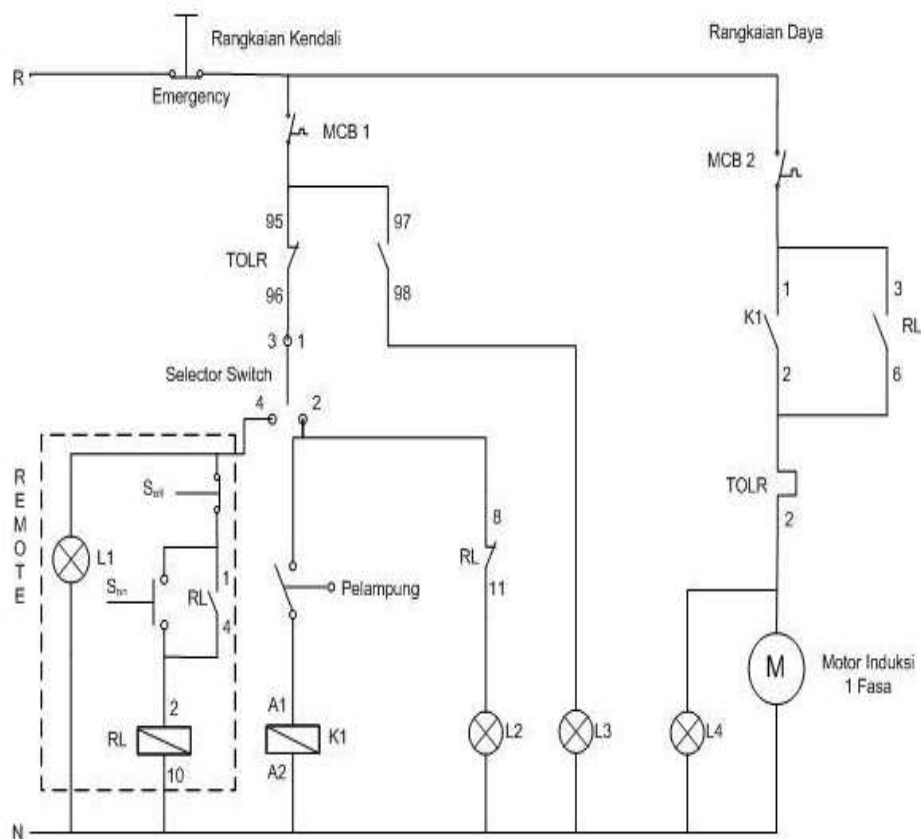
Seiring dengan semakin berkurangnya air pada sumuran (*sump*) maka Pelampung 2 akan semakin menggantung ke bawah sesuai dengan volume air dalam sumuran (*sump*) tersebut. Apabila level air telah sampai pada Pelampung 2 seperti terlihat dalam gambar untuk kondisi (3) maka Pelampung 2 akan menggantung ke bawah. Akibatnya, kontak pelampung antara 2 dan A1 akan membuka dan motor atau pompa air akan mati.

Apabila air di dalam sumuran (*sump*) mulai berkurang atau lebih rendah dari Pelampung 2, maka pelampung 2 akan menggantung pada kontak pelampung seperti lihat pada gambar untuk kondisi (4). Meskipun Pelampung 2 sudah menggantung, akan tetapi kontak pelampung masih tetap pada kondisi membuka.

Dengan memahami prinsip kerja pelampung, maka langkah berikutnya adalah perancangan kendali perlistrikan untuk operasional pompa air. Berikut ini adalah gambar rangkaian kendali listrik dan sekaligus rangkaian daya dari *water level control*. Rangkaian ini terdiri dari dua bagian yaitu menggunakan remote untuk mengoperasikan (menjalankan dan mematikan) pompa air secara manual dan menggunakan pelampung untuk mengoperasikan pompa air secara otomatis.

Prinsip Kerja Kendali Listrik Otomatisasi Pemompaan Drainase Tambang Bawah Tanah

Pada gambar 5 diperlihatkan hasil perancangan sistem kendali listrik pemompaan drainase tambang bawah tanah yang dilengkapi dengan kontrol level yang ditempatkan pada sumuran (*sump*) di dalam tambang.



Gambar 5 Rangkaian kendali dan rangkaian daya

Langkah-langkah kerja rangkaian *water level control* adalah sebagai berikut :

1. Diasumsikan bahwa tombol emergency, MCB rangkaian control dan MCB rangkaian daya tertutup atau sudah pada posisi on.
2. Pada keadaan normal kontak overload 95 – 96 tertutup dan kontak 97 – 98 terbuka
Posisi 1 yaitu pada saat selektor switch dipindahkan pada posisi 1-2 maka lampu indikator L2 akan menyala yang menandakan bahwa yang bekerja adalah

pelampung (otomatis). Ketika air di dalam sumuran telah penuh, pelampung akan terapung ke atas dan menutup kontak yang terdapat pada pelampung sehingga arus akan mengalir pada kontaktor K1 dengan demikian kontak utama 1–2 pada K1 akan menutup sedangkan kontak 3-6 pada RL (Relay) tetap terbuka sehingga motor akan berputar yang di tandai dengan menyalnya lampu indikator L4

3. Apabila motor mengalami kelebihan beban maka kontak 95-96 akan membuka dan kontak 97-98 akan menutup sehingga lampu indikator L3 yang menandakan kelebihan beban akan menyala dan pada saat itu motor akan berhenti berputar.
4. Jika air di dalam bak telah kosong atau telah mencapai level yang telah ditentukan maka pelampung di dalam air akan tertarik ke bawah sehingga membuka kontak yang terdapat pada pelampung tersebut dan motor akan akan berhenti berputar.
5. Proses selanjutnya kembali ke langkah nomor 1.
6. Untuk posisi 2 selektor switch dipindahkan pada posisi 3-4 maka lampu indikator L1 akan langsung menyala yang menandakan bahwa operasi motor dilakukan secara manual (remote untuk menyalakan dan mematikan motor) dan pada saat itu pelampung tidak akan bekerja
7. Untuk menyalakan motor tekan push button S_{on}
8. Kontak 1-4 akan menutup karena koil 2-10 relay (RL) mendapat energy listrik sehingga arus akan mengalir melalui kontak 1-4 tersebut walaupun saklar S_{on} dilepas
9. Dengan demikian kontak 3-6 dan 8-11 akan menutup sedangkan kontak 1-2 pada K1 tetap terbuka, dengan demikian motor akan berputar yang ditandai dengan menyalnya lampu indikator L4

10. Apabila motor mengalami kelebihan beban maka kontak 95-96 akan membuka dan kontak 97-98 akan menutup sehingga lampu indikator L3 yang menandakan kelebihan beban akan menyala dan pada saat itu motor akan berhenti berputar.

11. Tekan push button S_{off} untuk mematikan motor.

12. Baik untuk operasi dengan manual ataupun secara otomatis (dengan pelampung) apabila ada hal-hal yang tidak diinginkan terjadi pada saat motor beroperasi dapat langsung menekan tombol emergency sehingga seluruh rangkaian akan padam.

Untuk pengoperasian pompa dengan remote, digunakan rele yang dalam rangkaian disingkat dengan RL dengan pertimbangan penggunaan remote hanyalah sebagai cadangan jika pelampung mengalami kegagalan dalam pengoperasiannya. Dan dapat diganti dengan kontaktor. Jika anda menggunakan rele, relenya harus disesuaikan dengan kapasitas arus dari motor pompa. Kalau tidak sesuai, rele akan hangus. Motor yang digunakan pada rangkaian di atas adalah motor induksi 1 fasa. Jika yang ingin digunakan motor induksi 3 fasa, maka rangkaian kendalinya akan lebih rumit lagi.

Pada kondisi (2) dari gambar pelampung, usahakan jangan sampai tali pada pelampung terjadi lilitan yang menyebabkan terbentuknya sebuah simpul sehingga kedua pelampung berkumpul pada satu titik pada tali pelampung. Hal ini akan menyebabkan pompa mati menyala dalam waktu yang relatif singkat. Apabila hal ini terjadi, maka lampu indikator L4 pada gambar akan berkedip-kedip. Tentu saja penyebabnya adalah motor mati menyala dalam waktu yang relative singkat, yang mana diketahui bersama bahwa arus start dari motor induksi bisa 5 sampai 7 kali lebih besar dari arus nominalnya yang mana juga akan mempengaruhi putaran kWh meter.

4. KESIMPULAN

Dari rancang bangun sistem kendali otomatisasi pemompaan drainase tambang bawah tanah disimpulkan bahwa :

1. Rangkaian sistem kendali listrik pemompaan drainase tambang bawah tanah, dapat beroperasi secara otomatis pada saat pelampung menunjukkan level batas atas, dan dapat beroperasi secara manual apabila pelampung dalam kondisi rusak.
2. Rancang bangun sistem sistem kendali listrik pemompaan drainase tambang bawah tanah ini dapat direalisasikan pembuatannya di sumuran (*sump*) tambang bawah tanah.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Kenneth B. Rexford, *Electrical Control for Machines*, 3rd Edition, Delmar Publishers, Canada, 1987.
2. Walter N. Alerich, *ELECTRICITY 4: Motors & Generators, Altenators* 4th Edition, Delmar Publishers Inc., New York, 1986
3. Materi Pelajaran pengantar Teknologi Listrik Tambang, PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero), Divisi Pengembangan Sumber Daya Manusia, LPPT Ombilin, 1995
4. Modul Pembelajaran Kontrol Magnetik, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Direktorat Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2003.