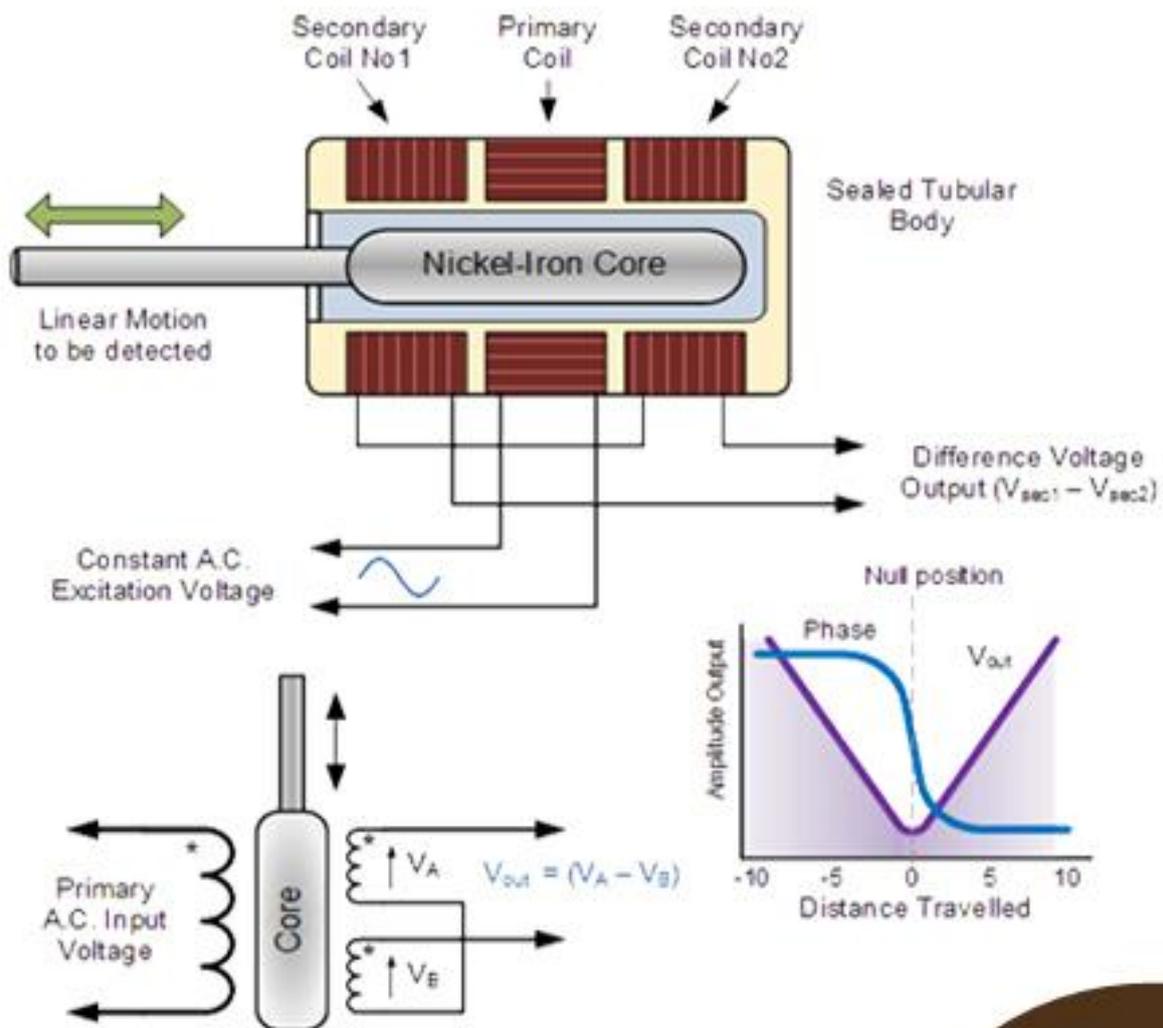


SENSOR DAN AKTUATOR

SEMESTER 3



KELAS

XI

Penulis

Reni
Didi

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus **dilakukan** peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus **dilakukan** peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014
Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

Penulis.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
I. PENDAHULUAN.....	1
A. Deskripsi.....	1
B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar.....	2
C. Silabus.....	3
D. Rencana Aktivitas Belajar.....	16
I. PEMBELAJARAN.....	17
A. Kegiatan Belajar 1.....	17
Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Posisi.....	17
1. PLC dalam suatu Sistem Otomasi Industri.....	19
2. Operasi Sistem Kontrol Industri (<i>Industrial Control System</i> atau ICS).....	21
3. Sensor Posisi.....	23
4. Potensiometer.....	28
6. Linear Variable Differential Transformer.....	38
B. Kegiatan Belajar 2.....	41
Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Kecepatan Sudut.....	41
1. Tachometer Optik.....	42
2. Tachometer Rotor Bergigi.....	42
C. Kegiatan Belajar 3.....	48
Menentukan Piranti-piranti Sensor Proximity.....	48
1. Limit Switch.....	49
2. Reed Switch.....	49
3. Sensor Proximity Induktif.....	50
4. Inductive Proximity Sensors.....	52
5. Sensor Capacitive Proximity.....	54
6. Sensor Optik.....	56
D. Kegiatan Belajar 4.....	59
Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Beban, dan Tekanan.....	59
1. Sensor Beban.....	60
2. Sensor Tekanan.....	63
E. Kegiatan Belajar 5.....	65
Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Suhu.....	65

1. Sensor Suhu	66
2. Sensor suhu Bimetalik	67
3. Thermocouple.....	69
4. Resistance Temperature Detector (RTD).....	72
5. Thermistor	74
6. Sensor Suhu Berbentuk IC	77
F. Kegiatan Belajar 6	81
Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Level dan Aliran Fluida.....	81
1. Sensor Aliran Fluida.....	81
2. Level Air (Water Level)	84
1. Level Likuid Diskrit	85
DAFTAR PUSTAKA	92

I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Sensor dan Aktuator ini merupakan paket keahlian yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada mata pelajaran Sensor dan Aktuator, untuk SMK Paket Keahlian Teknik Otomasi Industri yang diberikan pada kelas XI.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan “dokumen hidup” yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI DASAR
1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya	1.1. Menyadari sempurnanya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya dalam melaksanakan pekerjaan di bidang sensor dan aktuator 1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang sensor dan aktuator
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia	2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam melaksanakan pekerjaan di bidang tugas sensor dan aktuator 2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan sensor dan aktuator. 2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang tugas sensor dan aktuator
3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.	3.1. Menentukan kondisi operasi dan aplikasi piranti pendeteksi (sensor) posisi. 3.2. Menentukan kondisi operasi dan aplikasi sensor kecepatan sudut 3.3. Menentukan kondisi operasi dan aplikasi sensor proximity 3.4. Menentukan kondisi operasi sensor beban, dan tekanan. 3.5. Menentukan kondisi operasi sensor suhu 3.6. Menentukan kondisi operasi sensor level dan aliran 3.7. Menentukan kondisi operasi dan aplikasi aktuator elektromekanik 3.8. Menentukan kondisi operasi motor DC 3.9. Menentukan Kondisi Operasi dan aplikasi Motor Induksi Tiga Fasa 3.10. Menentukan Kondisi operasi dan aplikasi Aktuator pnumatik
4. Mengolah, menalar dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung	4.1. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi sensor posisi 4.2. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi sensor kecepatan sudut 4.3. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi sensor proximity 4.4. Memeriksa sensor beban, dan tekanan. 4.5. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi sensor suhu 4.6. Memeriksa kondisi operasi sensor level dan aliran 4.7. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi aktuator elektromekanik 4.8. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi motor DC 4.9. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi motor induksi tiga fasa 4.10. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi aktuator pnumatik

C. Silabus

Satuan Pendidikan : SMK
Program Keahlian : Teknik Ketenagalistrikan
Paket Keahlian : Teknik Otomasi Industri
Mata Pelajaran : Piranti Sensor dan Aktuator
Kelas /Semester : XI / 3 dan 4

Kompetensi Inti

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya

KI 2 : Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.

KI 3 : Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
1.1 Menyadari sepenuhnya konsep Tuhan tentang benda-benda dengan fenomenanya dalam melaksanakan pekerjaan di bidang sensor dan aktuator					
1.2 Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
pekerjaan di bidang sensor dan actuator					
2.4. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam melaksanakan pekerjaan di bidang tugas sensor dan aktuator					
2.5. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan sensor dan aktuator.					
2.6. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang tugas sensor dan actuator					

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
3.11. Menentukan operasi pendeteksi posisi 4.11. Memeriksa operasi pendeteksi posisi	kondisi piranti (sensor) kondisi piranti (sensor) <ul style="list-style-type: none"> • Operasi Sistem Kontrol Industri • Sensor Posisi • Potensiometer • Linear Variable Differential Transformer 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p> <p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja • Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi sensor posisi. <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p>	3 x 4 JP	Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar Alan S. Morris, Measurenet and Instrumentation Principilis, Butterword, Heinemann,

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		sudut, secara lisan dan tertulis.			
<p>3.12. Menentukan kondisi operasi dan aplikasi sensor Kecepatan sudut</p> <p>4.12. Memeriksa operasi dan aplikasi sensor kecepatan sudut</p>	<ul style="list-style-type: none"> Tachometer optik rotor Tachometer bergigi 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan sudut</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan sudut</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan sudut.</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan sudut</p> <p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> Pengamatan Sikap Kerja Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi sensor posisi. <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor posisi.</p>	3 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measurenent and Instrumentation Principilis, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan sudut, secara lisan dan tertulis.			
3.3. Menentukan kondisi operasi dan aplikasi sensor proximity 4.3. Memeriksa kondisi operasi dan aplikasi sensor proximity	<ul style="list-style-type: none"> • Limit switch • Reed switch • Sensor Proximity Induktif • Sensor Proximity Kapasitif • Sesnor Optik 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor proximity.</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor proximity .</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor proximity .</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor proximity .</p> <p>Mengkomunikasikan :</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja • Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi sensor kecepatan sudut <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan sudut.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor kecepatan sudut.</p>	4 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measurenent and Instrumentation Principilis, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor proximity . secara lisan dan tertulis			
<p>3.4 Menentukan Kondisi Operasi piranti pendeteksi Beban dan Tekanan mekanik</p> <p>4.4 Memeriksa Kondisi Operasi piranti pendeteksi Beban, dan tekanan mekanik.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor Beban • Sensor Tekanan 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor beban, dan tekanan.</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor beban, dan tekanan.</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor beban, suhu, dan tekanan.</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor beban, dan tekanan.</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja • Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi sensor beban, dan tekanan <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor beban, dan tekanan.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor beban, dan tekanan.</p>	4 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measuren et and Instrumentation Principilis, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		<p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor beban, dan tekanan, secara lisan dan tertulis.</p>			
<p>3.5. Menentukan kondisi operasi piranti pendeteksi suhu</p> <p>4.5. Memeriksa kondisi operasi piranti pendeteksi suhu</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor level • Sensor Aliran 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran.</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi,</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja <p>Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p>	4 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measurment and Instrumentation Principals, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		<p>operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran secara lisan dan tertulis.</p>			
<p>3.6 Menentukan Kondisi Operasi piranti pendeteksi level dan aliran</p> <p>4.6 Memeriksa Kondisi Operasi piranti pendeteksi level dan aliran</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor level • Sensor Aliran 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran.</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja <p>Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan</p>	4 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measurenet and Instrumentation Principilis, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		<p>sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran</p> <p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi sensor suhu, dan aliran secara lisan dan tertulis.</p>	<p>aplikasi sensor suhu, dan aliran</p>		
<p>3.7. Menentukan kondisi operasi aktuator elektromekanik</p> <p>4.7. Memeriksa kondisi operasi aktuator elektromekanik</p>	<p>• Akatuator elektromekanik</p> <ul style="list-style-type: none"> - prinsip - konstruksi - operasi - aplikasi 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi, aktuator elektromekanik.</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi, aktuator elektromekanik.</p> <p>Mengeksplorasi: Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang, prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi, aktuator elektromekanik.</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja • Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi dan aplikasi actuatoer elektromekanik <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi actuatoer elektromekanik.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p>	3 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measurenet and Instrumentation Principals, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		<p>hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan prinsip, kondruksi, operasi, dan aplikasi, aktuator elektromekanik,.</p> <p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang prinsip, kondruksi, operasi, dan aplikasi, aktuator elektromekanik, secara lisan dan tertulis.</p>	<p>Tugas:</p> <p>Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi actuator elektromekanik.</p>		
<p>3.8 Menentukan kondisi operasi motor DC</p> <p>4.8 Memeriksa kondisi operasi motor DC</p>	<ul style="list-style-type: none"> Motor DC <ul style="list-style-type: none"> - prinsip - konstruksi - operasi - aplikasi 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi motor DC</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang motor DC</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang motor DC</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Motor DC</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> Pengamatan Sikap Kerja Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi dan aplikasi motor DC <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi motor DC.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas:</p>	3 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measurenet and Instrumentation Principlis, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		<p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang motor DC secara lisan dan tertulis.</p>	<p>Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi motor DC.</p>		
<p>3.9. Menentukan Kondisi operasi Motor Induksi 3 fasa</p> <p>4.9. Memeriksa kondisi operasi motor induksi 3 fasa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Motor Induksi 3 Fasa <ul style="list-style-type: none"> - medan putar - prinsip - konstruksi - operasi - aplikasi 	<p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi Motor Induksi 3 fasa</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang motor induksi 3 fasa</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang motor induksi 3 fasa.</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan motor induksi 3 Fasa</p> <p>Mengkomunikasikan :</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja • Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi dan aplikasi motor Induksi 3 Fasa <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi Motor induksi 3 Fasa.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip,</p>	4 x 4 JP	<p>Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar</p> <p>Alan S. Morris, Measurenet and Instrumentation Principilis, Butterword, Heinemann,</p>

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang motor induksi 3 fasa secara lisan dan tertulis.	konstruksi, operasi, dan aplikasi motor induksi 3 Fasa.		
3.10. Menentukan operasi pnumatik 4.10. Memeriksa operasi pnumatik	Kondisi akatuator kondisi aktuator	<ul style="list-style-type: none"> • Silinder pnumatik <ul style="list-style-type: none"> - aksi tunggal - aksi ganda - pengaturan kecepatan gerak • Motor pnumatik <p>Mengamati : Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi aktuator pnumatik</p> <p>Menanya : Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang operasi dan aplikasi aktuator pnumatik</p> <p>Mengeksplorasi : Mengumpulkan data/informasi yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang, operasi dan aplikasi aktuator pnumatik</p> <p>Mengasosiasi : Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan aktuator operasi dan aplikasi pnumatik</p> <p>Mengkomunikasikan : Menyampaikan hasil konseptualisasi</p>	<p>Kinerja:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pengamatan Sikap Kerja • Pengamatan kegiatan Praktek menentukan kondisi operasi dan aplikasi actuato pnumatik <p>Tes: Tes lisan/ tertulis terkait dengan Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan aplikasi actuato pnumatik.</p> <p>Fortofolio: Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis</p> <p>Tugas: Pemberian tugas terkait Mengamati prinsip, konstruksi, operasi, dan</p>	4 x 4 JP	Killian, Modern Control technology, Component & System, Delmar Alan S. Morris, Measurenet and Instrumentation Principilis, Butterword, Heinemann,

Kompetensi Dasar	Materi Pokok	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
		tentang aktuator pnumatiksecara lisan dan tertulis.	aplikasi actuator pnumatik.		

Ket : Minggu efektif kelas XI semester ganjil = 20 minggu , semester genap = 18 minggu, Jumlah jam pelajaran per minggu (Mapel. Sensor dan actuator) =4 JP

D. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (saintifik). Langkah-langkah pendekatan ilmiah (*scientific approach*) dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melalui pengamatan, bertanya, percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sistem refrigerasi, instalasi dan aplikasinya. Langkah awal untuk mempelajari sistem dan instalasi refrigerasi adalah dengan melakukan pengamatan (observasi). Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang sangat aktif, inovatif, kreatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati

Buku bahan ajar “Sensor dan Aktuator 1 ini, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas XI, semester ganjil, mencakupi kompetensi dasar 3.1 dan 4.1 sampai dengan 3.6. dan 4.6, yang terbagi menjadi empat kegiatan belajar, yaitu (1) Menentukan kondisi operasi piranti pendeteksi posisi, (2) Menentukan kondisi operasi piranti pendeteksi kecepatan sudut, (3) Menentukan kondisi operasi piranti sensor proximity (4) menguraikan piranti pendeteksi beban, dan tekanan mekanik, (5) Menentukan kondisi operasi piranti pendeteksi suhu, (6) Menentukan kondisi operasi piranti pendeteksi level dan aliran fluida.

I. PEMBELAJARAN

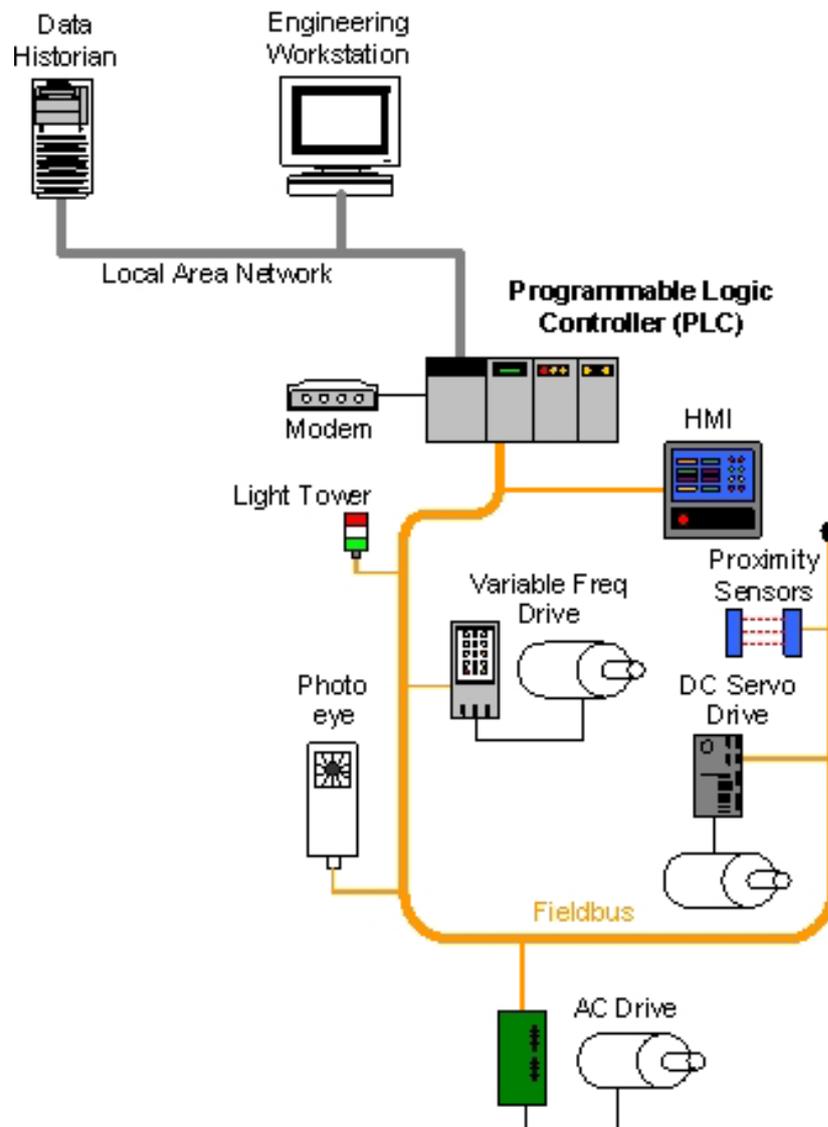
A. Kegiatan Belajar 1

Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Posisi

Industrial Control System (ICS) secara tipikal digunakan di berbagai jenis industri seperti ketenagalistrikan, air kemasan, minyak dan gas, transportasi, kimia, farmasi, kertas & pulp, makanan & minuman, serta discrete manufacturing (seperti, industri otomotif, dan aerospace). *Industrial control system*, mencakup beberapa sub sistem seperti, *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA) system DCS (*distributed control system*), dan konfigurasi sistem kontrol lainnya, seperti sistem PLC (*Programmable Logic Controller*) dan sistem PAC (*Programmable Automation Controller*) yang banyak dijumpai di sector *industrial control*. Penjelasan SCADA dan DCS yang lebih rinci akan diberikan pada semester berikutnya.

DCS lazimnya digunakan untuk mengontrol sistem produksi yang berada dalam suatu area terbatas seperti pabrik makanan & minuman, pabrik nikel, dan kilang minyak yang banyak menerapkan sistem *supervisory and regulatory control*.

PLC merupakan piranti *solid state* berbasis komputer yang digunakan untuk mengontrol peralatan dan proses produksi di industri. PLC merupakan komponen dari sistem kontrol yang digunakan pada system SCADA dan DCS. Di lain kesempatan PLC juga sering digunakan sebagai komponen utama pada konfigurasi sistem control yang lebih kecil yang menyediakan operasi kontrol berbasis proses diskrit (*discrete-based manufacturing*) seperti lini produksi perakitan *engine block* di industri otomatis dan *power plant soot blower control*. PLC digunakan secara ekstensif di hampir keseluruhan proses industri. PLC lazim digunakan pada aplikasi *discrete control* untuk mengontrol aplikasi spesifik dan biasanya menyediakan *regulatory control*. PLC digunakan pada system SCADA dan DCS sebagai pengontrol seluruh komponen pada sistem hirarki untuk memberikan *local manajemen proses feedback control* seperti yang diuraikan pada sesi sebelumnya.



Gambar 1.1 Implementasi Sistem PLC-control

Lembar Kerja 1:

Amati implementasi sistem otomasi industri seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 1.1. Sistem otomasi industri yang dipetakan dalam gambar tersebut tentunya terdiri dari bagian-bagian yang saling berinteraksi satu dengan lainnya. Identifikasi setiap bagian yang ada di dalam sistem tersebut dan uraikan fungsi dan sistem bekerjanya. Untuk itu kalian perlu mencari sumber informasi lain, agar kalian mampu memperjelas maknanya. Diskusikan dengan teman sekelompok, dan presentasikan hasilnya di kelas.

1. PLC dalam suatu Sistem Otomasi Industri

Pada kasus sistem SCADA, PLC memerankan fungsi sama sebagai RTU (*Remote Terminal Unit*). Pada saat digunakan pada sistem DCS, PLC diimplementasikan sebagai *local controller* pada skema *supervisory control*. PLC juga diimplementasikan sebagai komponen utama pada konfigurasi sistem kontrol yang lebih kecil. PLC memiliki *user-programmable memory* untuk menyimpan instruksi-instruksi untuk mengimplementasikan berbagai fungsi spesifik, seperti *I/O control, logic, timing, counting, proportional-integral-derivative (PID) control, communication, arithmetic, and data & file processing*. Gambar 1.1 memperlihatkan pengontrolan proses manufaktur yang dilakukan oleh PLC melalui jaringan *fieldbus*. PLC dapat diakses melalui sebuah *programming interface* yang terletak di suatu *engineering workstation*, dan data disimpan di dalam suatu *data historian*, yang keseluruhannya terhubung pada LAN.

Proses industri berbasis manufaktur secara tipikal dapat dibagi menjadi dua proses utama, yaitu: (1) Proses Manufaktur Kontinyu (*Continuous Manufacturing Processes*), dan (2) Proses Manufaktur Pengolahan Bahan Mentah (*Batch Manufacturing Processes*).

Proses Manufaktur Kontinyu.

Proses manufaktur ini berlangsung secara kontinyu, tetapi seringkali diselingi juga dengan proses transisi untuk memperoleh produk dengan tingkat yang berbeda-beda. Tipikal proses manufaktur secara kontinyu ini adalah distribusi bahan bakar minyak atau uap superheat pada suatu power plant, kilang minyak dan proses destilasi di pabrik kimia.

Proses Manufaktur Pengolahan Bahan Mentah.

Proses ini terdiri dari beberapa tahap proses yang berbeda, pada saat menangani bahan baku (bahan mentah) yang akan diproses. Pada proses manufaktur ini, ada perbedaan antara tahap awal proses (*start step*) dan tahap akhir proses (*end step*) dan memungkinkan adanya operasi yang tetap (*steady state*) selama tahap pertengahan proses. Tipikal proses manufaktur berbasis proses manufaktur *batch* mencakup proses manufaktur di industri makanan dan minuman.

Dilihat dari sisi urutan tahapan proses (*step-sequence process*), proses produksi di industri berbasis manufaktur juga dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (1) industri manufaktur berbasis diskrit (*discrete-based manufacturing industry*), dan (2) industri manufaktur berbasis proses (*process-based manufacturing industry*). Industri manufaktur berbasis diskrit secara tipikal dilaksanakan melalui beberapa tahapan (*step*) dalam suatu peralatan tunggal untuk menghasilkan produk akhir. Contoh tipikal dari industri manufaktur seperti ini adalah industri perakitan piranti elektronik dan mekanik serta peralatan suku cadang mesin. Kedua tipe industri manufaktur di atas lazimnya menggunakan sistem kontrol, sensor dan jaringan yang sama.

Walaupun sistem kontrol yang digunakan pada industri terdistribusi dan industri manufaktur memiliki kesamaan dalam operasi, tetapi tetap memiliki perbedaan dalam beberapa aspek. Perbedaan pertama dan utama adalah kalau sub sistem DCS atau sub sistem *PLC*, lazimnya diletakkan pada area pabrik yang lebih terbatas, sedangkan pada sistem SCADA tersebar secara geografis pada beberapa area yang berbeda. Sistem komunikasi data pada sistem DCS dan *PLC* lazimnya menggunakan teknologi jaringan area lokal atau local area network (*LAN*) yang lebih reliabel dan lebih cepat dibandingkan dengan sistem komunikasi jarak jauh (*long-distance communication system*) yang digunakan pada sistem SCADA.

Pada kenyataannya, sistem SCADA didisain khusus untuk menangani tantangan-tantangan yang ada pada sistem komunikasi jarak seperti data tertunda dan data hilang yang muncul pada berbagai media komunikasi yang digunakan. Sistem DCS dan *PLC* biasanya lebih banyak menerapkan *closed loop control system* dibandingkan sistem SCADA karena pengontrolan proses manufaktur di industri secara tipikal lebih rumit dan komplikatif dibandingkan sistem supervisory control pada sistem terdistribusi dalam area yang lebih luas.

2. Operasi Sistem Kontrol Industri (*Industrial Control System* atau ICS)

Operasi Sistem Kontrol Industri (*Industrial Control System* atau ICS yang diperlihatkan pada Gambar 1.2. memiliki beberapa komponen kunci sebagai berikut:

Control Loop.

Control loop terdiri dari sistem sensor untuk pengukuran data, piranti kontrol seperti PLC, sistem aktuator seperti control valve, breaker, switch dan motor, serta sistem komunikasi dari berbagai variable data. Variabel terkontrol (*Controlled variable*) ditransmisikan ke piranti kontrol (PLC) dari piranti sensor. Kemudian piranti kontrol (PLC) menginterpretasikan sinyal yang dikirim oleh piranti sensor dan membangkitkan variable termanipulasi yang sesuai, berdasarkan konfigurasi *set point*, yang akan dikirimkan ke piranti aktuator. Perubahan proses akibat adanya gangguan (*disturbance*) menghasilkan data sinyal baru yang dikirim oleh piranti sensor, proses baru akan diidentifikasi, dan akan dikirim ke piranti kontrol (PLC).

Antarmuka Manusia-Mesin (*Human-Machine Interface* disingkat HMI).

Operator dan teknisi menggunakan piranti HMI untuk memonitor dan mengkonfigurasi *set point*, algoritma kontrol, mengatur dan menyediakan berbagai parameter di dalam piranti kontrol (PLC/DCS). Piranti HMI juga menayangkan informasi status proses secara real time dan informasi yang telah berlangsung (*historical information*).

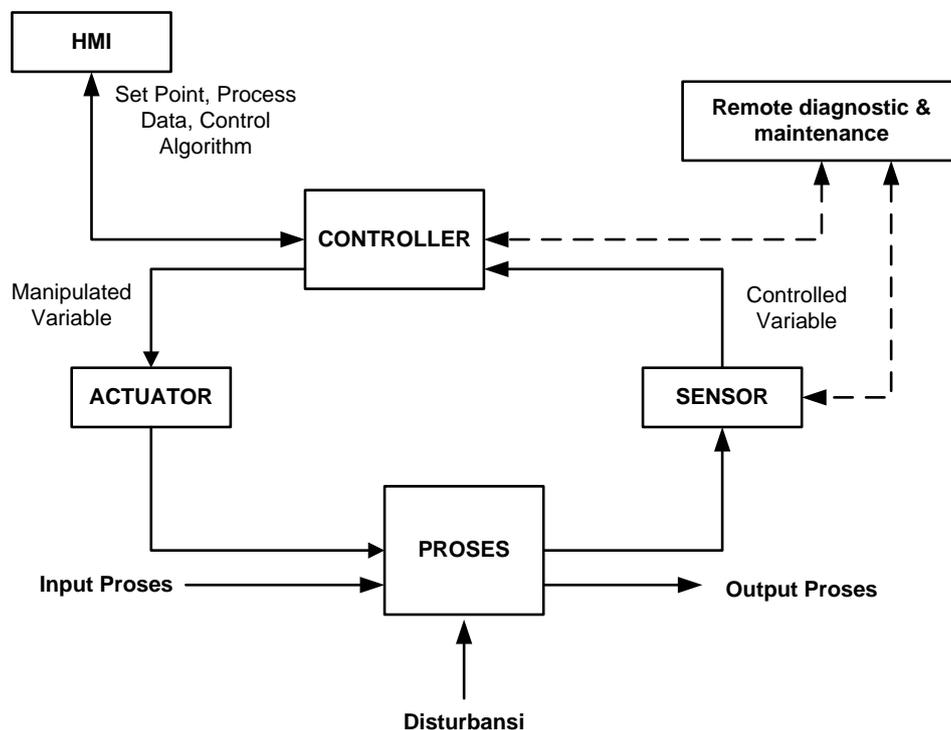
Utilitas Pemeliharaan dan Diagnostik Jarak Jauh (*Remote Diagnostics and Maintenance Utility*).

Remote Diagnostic & maintenance utility digunakan untuk mencegah, mengidentifikasi dan untuk mengatasi (recover) terjadinya operasi abnormal dan kerusakan.

Secara tipikal ICS terdiri atas *proliferasi control loop*, *HMI*, dan *remote diagnostic & maintenance tool* yang dibangun menggunakan tatanan protokol jaringan (*network protocol*) dalam suatu arsitektur jaringan. Kadangkala sistem *control loop* dibuat secara *nested* dan atau *cascading* – di mana *set point* pada

sebuah *control loop* didasarkan pada variabel proses (process variable) yang diberikan oleh sistem *control loop* lainnya. Loop pada level Supervisory dan loop pada level yang lebih rendah beroperasi secara kontinu selama proses berlangsung dengan rentang waktu siklus dalam order menit.

Piranti yang mendeteksi keadaan atau besaran fisis tertentu dan kemudian memberi informasi ke sistem kontrol (*control system*) tentang keadaan atau kondisi aktual yang sedang terjadi disebut sensor. Oleh karena itu, para desainer sistem kendali, harus memahami secara pasti bagaimana parameter sistem harus dimonitor atau diukur untuk keperluan sistem kendali. misalnya, bagaimana cara memonitor posisi, suhu, dan tekanan, dan kemudian memilih jenis sensor dan sirkit data interface untuk menanganinya.



Gambar 1.2 Operasi Industrial Control System

Sebagai contoh, kita akan mengukur aliran fluida di dalam sebuah pipa dengan flowmeter, atau mengukur aliran secara langsung dengan melihat berapa lama waktu yang diperlukan untuk mengisi suatu kontainer. Cara yang dipilih tentu

saja disesuaikan dengan persyaratan sistem, harga, dan reliabilitasnya. Berikut ini diuraikan perbedaan sensor dan transduser.

Lembar Kerja 2: melalui lembar kerja ini kalian akan mempelajari tentang sensor dan transduser. Kalian harus dapat membedakan antara sensor dan transduser. Di pasaran ada sensor analog dan sensor digital. Kalian juga harus dapat membedakan antara keduanya. Untuk itu kalian harus mengumpulkan informasi yang relevan dengan pokok bahasan. Selanjutnya kalian melakukan inferensi terkait dengan permasalahan yang sedang kalian hadapi. Diskusikan dengan teman sekelompok agar dapat memberikan hasil terbaik. Paparan harus sistematis dan ilmiah meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor dan transduser dan sensor analog dan sensor digital. Jika telah selesai, presentasikan di kelas.

3. Sensor Posisi

Sirkuit elektronik sederhana dapat dibuat untuk merepresentasikan berkas cahaya atau memainkan notasi musikal, tetapi agar sirkuit elektronik atau sistem dapat menampilkan tugas yang lebih bermanfaat dan berfungsi maka sirkuit tersebut harus memiliki kemampuan untuk berkomunikasi dengan keadaan nyata "real world" yakni mampu membaca suatu perubahan besaran fisik (misalnya suhu atau tekanan uap) yang dideteksinya, kemudian besaran fisik tersebut diubah dalam bentuk sinyal listrik (tegangan atau arus). Sinyal listrik tersebut merupakan sinyal input analog yang dapat digunakan oleh piranti kontrol (*controller*) untuk mengendalikan suatu piranti output (aktuator) misalnya mengatur katub pengontrol (*control valve*) yang terpasang pada saluran uap. Sirkuit elektronik seperti itu lazim disebut sebagai transduser. Agar transduser dapat melakukan fungsi tersebut maka perlu dilengkapi dengan sensor yang berfungsi sebagai piranti pendeteksi besaran fisik, misalnya sensor suhu dan sensor tekanan.

Istilah "Transducer" merupakan istilah kolektif yang digunakan untuk suatu piranti yang mampu mengubah satu besaran fisik ke besaran lainnya, misalnya dari besaran suhu ke besaran listrik atau dari besaran listrik ke besaran mekanik. Menurut fungsinya, transducer dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu input

transducer, dan output transducer. Input transducer lazim disebut sebagai sensor, karena kemampuannya mendeteksi besaran fisik yang diharapkan dan kemudian mengubahnya menjadi energi lain misalnya energi listrik (sinyal listrik). Sedang output transducer lazim disebut sebagai aktuator, karena kemampuannya mengubah energi listrik (sinyal listrik) menjadi besaran lain misalnya besaran fisis, mekanik atau suara. Transducer digunakan untuk mendeteksi berbagai bentuk energi dalam rentang yang luas, seperti gerakan, sinyal listrik, energi radiasi, energi termal, energi magnetik dan sebagainya..

Telah tersedia berbagai tipe piranti input baik tipe input digital ataupun input analog. Yang termasuk tipe input digital antara lain sakelar tombol tekan, limit switch, dan temperature sensor. Yang termasuk tipe input analog antara lain temperature transducer, pressure transducer, dan flow transducer.

Jadi Input transducer (sensor) berfungsi mendeteksi perubahan fisik pada suatu keadaan atau besaran yang selalu berubah sebagai respon dari suatu eksitasi piranti aktuator, sebagai contoh energi panas atau gaya tekan diubah menjadi sinyal listrik. Sedang output transducer (aktuator) berfungsi mengaktifkan atau mengeksekusi berbagai piranti eksternal, misalnya gerakan katub kontrol atau suara.

Tabel 1.1

Besaran yang Diukur	Piranti Input (Sensor)	Piranti Output (Aktuator)
Light Level	Light Dependant Resistor (LDR) Photodiode Photo-transistor Solar Cell	Lights & Lamps LED's & Displays Fibre Optics
Temperature	Thermocouple Thermistor Thermostat Resistive temperature detectors (RTD)	Heater Fan
Force/Pressure	Strain Gauge Pressure Switch Load Cells	Lifts & Jacks Electromagnet Vibration
Position	Potentiometer Encoders Reflective/Slotted Opto-switch LVDT	Motor Solenoid Panel Meters
Speed	Tacho-generator	AC and DC Motors

	Reflective/Slotted Opto-coupler Doppler Effect Sensors	Stepper Motor Brake
Sound	Carbon Microphone Piezo-electric Crystal	Bell Buzzer Loudspeaker

Electrical Transducer digunakan untuk mengubah energi satu menjadi energi lainnya, sebagai contoh, microphone (input transducer) mengubah gelombang suara menjadi sinyal listrik yang digunakan oleh suatu amplifier untuk menguatkan (suatu proses), dan loudspeaker (output transducer) mengubah sinyal listrik kembali menjadi gelombang suara. Tabel berikut ini memperlihatkan suatu contoh nyata dari suatu bentuk Input/Output (I/O) dan besaran yang diukurnya.

Input transducer atau sensor, memproduksi respon tegangan atau sinyal output yang proporsional terhadap perubahan kuantitas yang diukurnya. Tipe dan jumlah sinyal output tergantung pada tipe sensor yang digunakan. Tetapi biasanya, seluruh tipe sensor dapat diklasifikasikan menjadi dua kelas, yaitu pasif dan aktif.

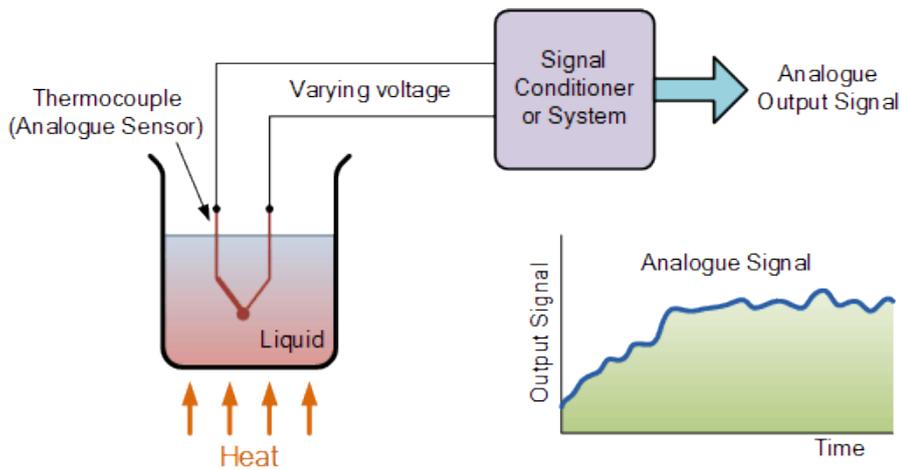
Sensor aktif memerlukan tenaga dari luar untuk dapat beroperasi, yang lazim disebut sebagai sinyal penguat yang akan digunakan oleh sensor untuk memproduksi sinyal output. Sensor aktif merupakan piranti *self-generating* sebab sifat responsifnya terhadap perubahan yang terjadi, misalnya dalam bentuk tegangan output 1 hingga 10 volt DC atau arus output 4 hingga 20mA DC. Contoh nyata untuk sensor aktif adalah strain gauge yang beroperasi berbasis tekanan pada suatu sirkit resistif dalam rangkaian jembatan. Strain gauge tidak dapat menghasilkan sinyal listrik sendiri, tetapi dengan melewatkan arus listrik pada elemennya (sinyal penguat), maka resistansi listrik dapat diukur dengan mendeteksi adanya variasi arus atau tegangan pada elemen resistif yang berubah akibat adanya gaya tekan yang diterimannya.

Sensor pasif sensor tidak memerlukan energi dari luar karena ia mampu menghasilkan sinyal listrik sebagai respon dari adanya stimulus eksternal. Sebagai contoh, thermocouple atau photodiode. Sensor pasif merupakan sensor langsung yang mengubah sifat fisik, seperti resistansi, kapasitansi dan induktansi menjadi sinyal listrik.

Dilihat dari sinyal yang dihasilkannya, sensor juga dapat diklasifikasikan menjadi dua kelas, yaitu sensor analog dan sensor digital.

Sensor Analog

Sensor analog memproduksi sinyal output kontinu atau tegangan yang besarnya proporsional dengan besaran fisik yang diukurnya. Besaran fisik seperti suhu (*temperature*), kecepatan (*speed*), tekanan (*pressure*), jarak (*displacement*), beban (*strain*), dll. semuanya itu merupakan kuantitas analog karena sifatnya yang cenderung kontinu. Sebagai contoh, suhu (*temperature*) suatu cairan atau likuid dapat diukur dengan menggunakan thermometer atau thermocouple yang memiliki respon kontinu terhadap perubahan suhu likuid karena mendapat pemanasan atau pendinginan.



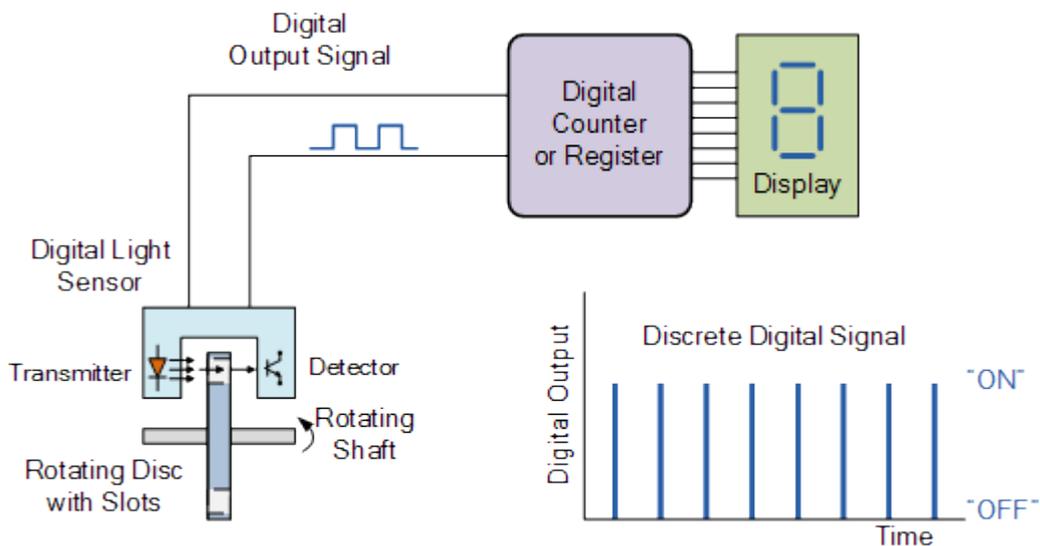
Gambar 1.3 Sensor Analog

Sensor analog cenderung memproduksi sinyal output yang berubah dengan lembut dan kontinu setiap saat. Sinyal analog yang diproduksi oleh sensor analog cenderung sangat lemah dalam orde beberapa micro-volts hingga beberapa milli-volts (mV), sehingga memerlukan penguatan untuk memperbesar sinyalnya. Sirkuit yang mengukur sinyal analog biasanya memiliki respon dan akurasi rendah. Sinyal analog dapat dengan mudah dikonversi menjadi sinyal digital dengan menggunakan AD converter (ADC) agar dapat dibaca oleh *microcontroller*.

Sensor Digital

Seperti namanya, sensor digital memproduksi sinyal output atau tegangan berbentuk diskrit yang merupakan representasi besaran yang diukurnya. Sensor

digital memproduksi sinyal output dalam bentuk biner dalam bentuk logika "1" atau logika "0", ("ON" atau "OFF"). Ini berarti sinyal digital hanya memproduksi nilai diskrit (*non-continuous*) yang dapat dikeluarkan sebagai "bit" (*binary digit*) tunggal, (*serial transmission*) atau kombinasi bit untuk memproduksi sebuah output dalam ukuran "byte" (*parallel transmission*), yang terdiri dari delapan bit.



Gambar 1.4 Sinyal Digital

Sekarang kalian akan lebih mendalami tentang berbagai piranti yang diklasifikasikan sebagai piranti input yang lazim disebut sensor dan secara khusus sensor tersebut terkait dengan posisi aktual suatu obyek atau benda kerja baik pada posisi awal ataupun posisi akhir. Seperti namanya sensor mengimplikasikan bahwa piranti tersebut memberikan umpan balik posisi.

Piranti yang memberitahu atau memberi informasi ke sistem kendali (*control system*) tentang keadaan atau kondisi aktual yang sedang terjadi disebut *sensor* (lazim pula disebut sebagai input *transducer*). Oleh karena itu, para disainer sistem kendali (*control system*), harus memahami secara pasti bagaimana parameter sistem harus dimonitor atau diukur untuk keperluan sistem kendali. misalnya, bagaimana cara memonitor posisi (*position*), suhu (*temperature*), dan tekanan (*pressure*), dan kemudian memilih jenis sensor dan sirkuit data *interface* untuk menanganinya. Sebagai contoh, kita akan mengukur aliran fluida di dalam sebuah pipa dengan

flowmeter, atau mengukur aliran secara langsung dengan melihat berapa lama waktu yang diperlukan untuk mengisi suatu kontainer. Cara yang dipilih tentu saja disesuaikan dengan persyaratan sistem, biaya, dan reliabilitasnya.

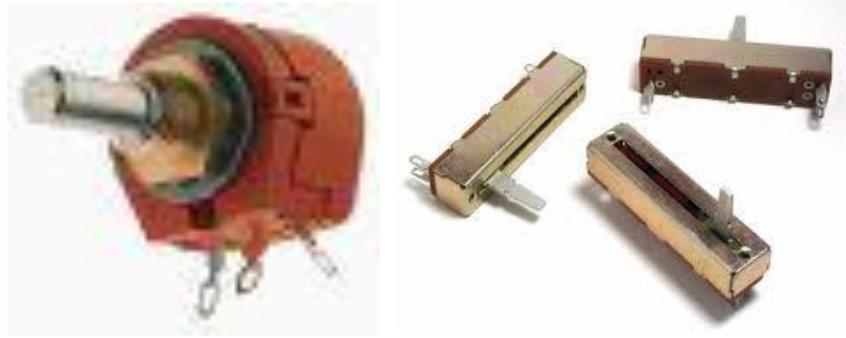
Banyak sensor bekerja dengan mengubah parameter fisik seperti suhu atau posisi menjadi sinyal listrik. Oleh karena itu sensor seperti ini lazim disebut sebagai *transducer*, yaitu piranti yang mengubah energi satu ke energi lainnya.

Sensor posisi (*position sensor*) melaporkan posisi suatu obyek secara fisik terhadap satu titik acuan. Informasi tersebut mungkin dalam bentuk besaran sudut putar, seperti berapa derajat piringan radar harus digerakkan ke suatu posisi yang diinginkan. Atau besaran linear, misalnya berapa meter atau inchi lengan *robot arm* harus digerakkan.

Salah satu cara menentukan posisi, adalah menggunakan "jarak", yang diartikan sebagai jarak antara dua titik berbeda dalam gerakan mendatar atau translasi dan dapat diartikan sebagai jarak antara dua titik dalam gerakan rotasi (*angular movement*). Sebagai contoh, gerakan rotasi roda robot untuk menentukan jarak tempuh yang telah dilakukan oleh robot, atau sensor posisi untuk menentukan pergerakan suatu obyek secara mendatar pada lintasan tertentu dengan menggunakan linear sensors atau untuk mendeteksi kecepatan sudut suatu obyek yang bergerak secara berputar (rotari) dengan menggunakan rotary sensor.

4. Potensiometer

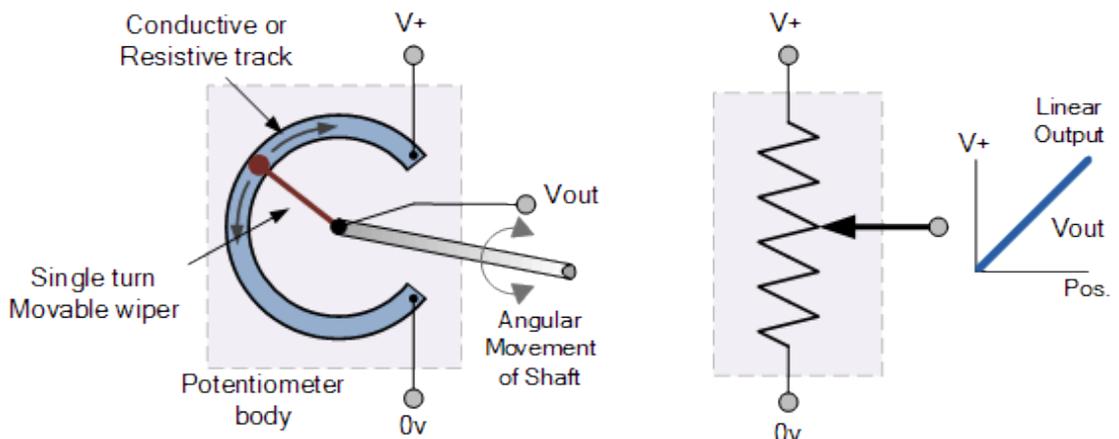
Sensor posisi yang banyak beredar di pasaran didisain berbasis potentiometer. Sensor posisi berbasis potensiometer relatif murah dan mudah dalam penggunaannya. Sensor ini memiliki suatu kontak bergerak (*wiper contact*) yang terhubung pada suatu poros mekanik yang dapat bergerak secara translasi atau rotasi. Selanjutnya pergerakan translasi atau rotasi akan menyebabkan nilai resistan antara *wiper/slider* dan dua terminal potensiometer berubah yang dapat memberikan output sinyal listrik proporsional dengan posisi aktual wiper pada resistive track dan nilai resistannya. Dengan kata lain, nilai resistan proporsional dengan posisi.



Gambar 1.5 Tipikal Potensiometer Rotasi dan Translasi

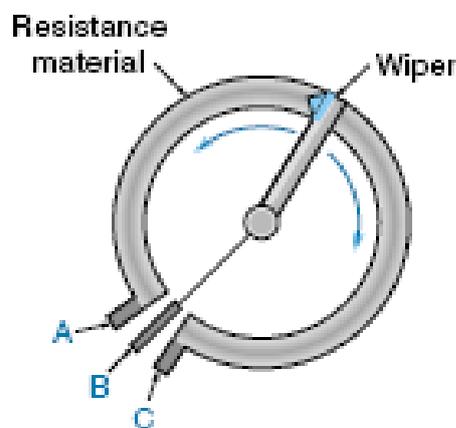
Secara disain, nilai resistan potentiometer tersedia dalam rentang yang lebar dan dalam ukuran yang bervariasi baik yang bergerak secara translasi ataupun yang bergerak secara rotasi. Ketika digunakan sebagai sensor posisi maka obyek bergerak yang dideteksi dihububgkan langsung ke poros (*shaft or slider*) dari potentiometer dan catu daya listrik arus searah terhubung pada terminal tetap potensiometer agar membentuk elemen resistif. Sinyal tegangan output diperoleh dari wiper terminal dari sliding contact seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.5. Konfigurasi tersebut menghasilkan sirkuit pembagi tegangan di mana tegangan output proporsional dengan posisi poros.

Sebagai contoh, jika kalian memasang tegangan searah pada elemen resistif potensiometer sebesar 10 VDC, maka tegangan output maksimal yang dapat diperoleh juga sebesar 10 VDC, dan tegangan output minimumnya adalah 0 VDC. Kemudian jika *potentiometer wiper* bergerak mengikuti pergerakan obyek yang dideteksi posisinya, maka tegangan output yang diperoleh akan bervariasi mulai dari 0 VDC hingga mencapai nilai maksimum sebesar 10 VDC, dan tegangan output sebesar 5 VDC menunjukkan bahwa wiper atau slider berada pada posisi tengah (*centre*).



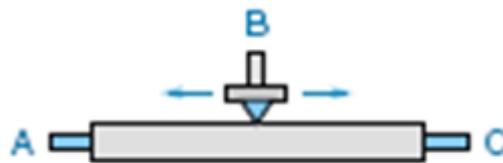
Gambar 1.6 Konfigurasi Potensiometer sebagai Sensor Posisi

Potensiometer dapat digunakan untuk mengubah gerakan rotari dan gerakan linier menjadi besaran tegangan. Pada kenyatannya, potensiometer hanya memberikan nilai resistan variabel, tetapi seperti yang dapat kita lihat, nilai resistan tersebut dapat dengan mudah diubah menjadi besaran tegangan. Potensiometer digunakan sebagai sensor posisi dengan prinsip sama seperti “*volume-control*,” pada radio, tetapi berbeda dalam sifat. Potensiometer yang digunakan pada volume control memiliki taper yang berubah secara non linear tetapi potensiometer yang digunakan pada sensor posisi resistansinya berubah secara linear. Dalam hal ini resistansinya berubah secara proporsional terhadap putaran poros.

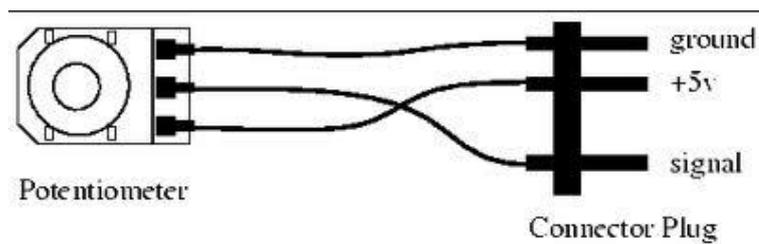


Gambar 1.7 Potensiometer Rotary

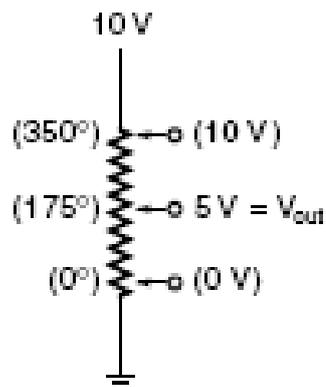
Gambar 1.8 memperlihatkan bagaimana sebuah potensiometer bekerja. Suatu bahan resistif (resistive material), seperti conductive plastic, berbentuk lingkaran (memiliki terminal contacts A dan C). Bahan ini memiliki resistansi uniform sehingga nilai ohms-per-inch selalu constant. Potensiometer ini dipasang pada suatu poros slider, atau wiper, yang dapat meluncur atau bergeser sepanjang keliling resistor dan memberikan suatu nilai resistansi pada setiap posisi melalui kontak B. Pada prinsipnya, potensiometer seperti ini hanya dapat digunakan untuk gerakan rotasi yang tidak melebihi 350° . Untuk gerakan linear digunakan potensiometer seperti gambar 1.10.



Gambar 1.8 Prinsip Linear potensiometer



Gambar 1.9 Terminasi Rotary Potensiometer



Gambar 1.10 Diagram Skematik Potensiometer sebagai Sensor

Contoh 1.1

Sebuah potensiometer dipasang pada tegangan 10 V dan diset pada posisi 82° (Gambar 1.10). jangkauan posisi yang bias diperoleh putaran potensiometer adalah 350° . Hitung tegangan outputnya.

Solusi

Bila tegangan terpasang pada potensiometer adalah 10 V, maka putaran sudut maksimal sebesar 350° akan memberikan tegangan output sebesar 10-V. Dengan menggunakan nilai tersebut, kita dapat membuat perbandingan (ratio antara output ke input dan menggunakan ratio tersebut untuk menghitung output untuk setiap input.

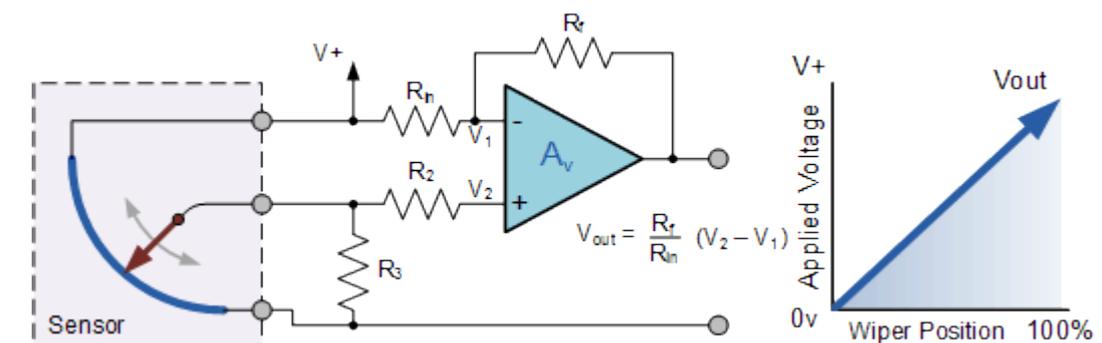
$$TF_{POT} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{10V_{dc}}{350^\circ}$$

Untuk menentukan tegangan output pada suatu posisi sudut tertentu, kalikan sudut posisi potensiometer dengan transfer function, sebagai berikut:

$$\text{Tegangan}_{POT}(82^\circ) = \frac{10V_{dc}}{350^\circ} \times 82^\circ = 2,34 V_{dc}$$

Rangkaian Dasar Sensor Posisi berbasis Potensiometer

Sensor posisi berbasis potensiometer memiliki banyak keuntungan antara lain biaya investasi rendah, mengandung teknologi rendah, dan mudah menggunakannya. Disamping memiliki banyak keuntungan, sensor posisi berbasis potensiometer juga memiliki kelemahan, adanya bagian yang bergerak (*wiper atau slider*) dapat menjadi aus, akurasi rendah, *low repeatability*, dan respon frekuensi terbatas.

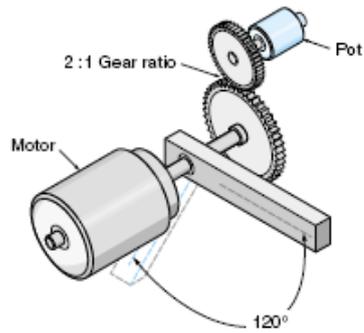


.Gambar 1.11 Rangkaian Dasar Sensor Posisi berbasis Potensiometer

Tetapi satu kelemahan utama yang dihadapi oleh sensor posisi berbasis potensiometer adalah posisi sensor. Rentang pergerakan dari *wiper* atau *slider* (yang langsung terkait dengan besaran sinyal output yang diperoleh) terbatas dikarenakan oleh ukuran fisik potensiometer yang digunakan. Sebagai contoh, satu putaran penuh rotari potensiometer hanya dapat menjangkau sudut sebesar 240 hingga 330 derajat. Pada umumnya potensiometer menggunakan carbon film sebagai *resistive track*, tetapi jenis ini menimbulkan *electrically noisy*, dan juga hanya memiliki umur mekanikal pendek.

Wire-wound potentiometer dikenal juga dengan istilah *rheostat*, dapat berbentuk sebagai straight wire atau wound coil resistive wire, tetapi wire wound potentiometer memiliki masalah dalam hal resolusi karena kecenderungan pergerakan wiper melompat dari satu wire segment ke wire segment berikutnya menghasilkan nilai logarithmic output yang menyebabkan terjadinya error pada sinyal output, dan juga memberikan gangguan electrical noise.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, saat ini sudah tersedia elemen resistif tipe conductive plastic resistance element yang memiliki presisi tinggi, dan electrical noise rendah terbuat dari *polymer film* atau *cermet type potentiometer*. Potensiometer tipe ini memiliki friction electrically linear yang lembut pada resistive track sehingga menghasilkan electrical noise rendah, mempunyai umur mekanikal lebih panjang dan resolusi lebih baik, tersedia dalam *multi-turn* dan *single turn device*. Potensiometer tipe ini banyak digunakan pada piranti computer game joystick, steering wheel, aplikasi robot industri.



Gambar 1.12 sensor potensiometer pada suatu robot

Permasalahan:

1. Apakah displacement transducer itu?, uraikan jawabanmu secara sistematis!

.....

.....

.....

.....

.....

2. Di mana displacement transducer digunakan? Uraikan jawabanmu dan lengkapi dengan contoh nyata yang ada di lingkungan industri!

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Bagaimana bisa potensiometer displacement transducer dapat digunakan untuk mengukur tekanan likuid atau tekanan gas?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Apa maksud dilakukan hubungan mekanikal antara obyek yang akan dimonitor posisi atau gerakkannya dengan potensiometric transducer?

.....

.....

.....

.....

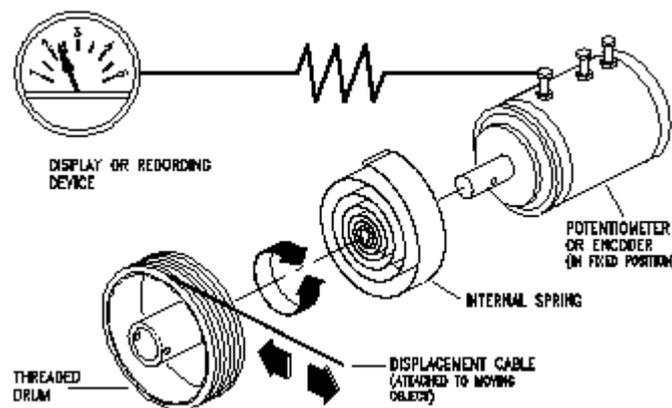
.....

.....

Lembar kerja 3:

Seperti yang telah kalian ketahui bahwa displacement transducer merupakan piranti yang mampu mendeteksi deviasi suatu posisi, kesejajaran, posisi atau lokasi suatu obyek yang bergerak baik secara translasi maupun rotasi. Deviasi posisi tersebut kemudian diubah menjadi sinyal listrik di mana polaritas sinyal menunjukkan arah langkah dari obyek yang diukur atau dideteksi. Ukuran besaran sinyal listrik (*magnitude*) merepresentasikan derajat atau besar langkah gerakan dari obyek tersebut.

Dalam prakteknya, wiper atau slider potensiometer terhubung langsung dengan obyek yang akan dimonitor atau dideteksi gerakan langkahnya, seperti gambar berikut:



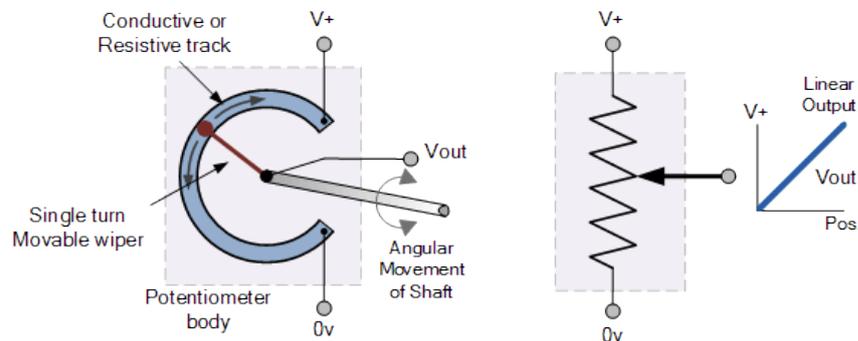
Agar kalian dapat memperjelas uraian displacement transducer, kalian harus melakukan sebuah percobaan atau eksperimen. Untuk itu, rancanglah sebuah proyek untuk menginvestigasi performansi potensiometer transducer.

Peralatan yang diperlukan adalah:

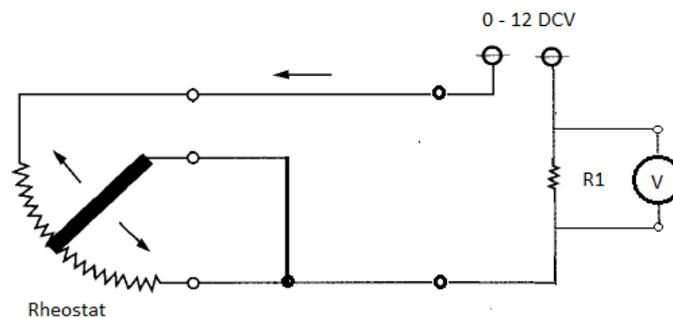
- Multimeter digital
- DC regulated power supply
- Resistor 1 k Ω
- Variable resistor (potensiometer) 250 Ω , 5 watt atau lebih besar
- Kabel jumper

Petunjuk:

1. Potensiometer atau resistor variabel yang digunakan di dalam eksperimen ini mereresentasikan potentiometric displacement transducer seperti yang diperlihatkan dalam gambar berikut:



2. Buatlah rangkaian percobaan seperti gambar berikut:



3. Anggaplah bahwa tuas pemutar atau penggerak (slider) potensiometer terhubung secara mekanik dengan suatu obyek bergerak yang akan dimonitor posisinya. Atur atau geser potensiometer perlahan maju/mundur dan deskripsikan dampak yang ditimbulkannya khususnya nilai tegangan output pada R1.
4. Gerakkan slider potensiometer hingga mencapai nilai maksimum dan nilai minimum, dan catalah nilai tegangan pada R1.

5. Buat instrumen pengumpulan data untuk mencatat hasil pengukuran. Tabulasikan data pengukuran yang kalian peroleh, lakukan pengolahan data, kemudian buat laporan pelaksanaan eksperimen dan presentasikan hasilnya di kelas.

Permasalahan

1. Potentiometer dengan jangkauan gerak rotary 350° dipasang pada tegangan 12 Vdc. Tentukan tegangan output pada posisi 135° .
2. Potentiometer dengan jangkauan gerak rotary 350° terpasang pada tegangan 8 Vdc. Tegangan output ke wiper adalah 3.7 Vdc. Berapa posisi sudut gerakan potensiometer?
3. Potensiometer $10\text{-k}\Omega$ digunakan sebagai position sensor tegangan kerjanya 10 VDC. Input resistance sirkit interface adalah $50\text{ k}\Omega$. tentukan loading error ketika potensiometer berada pada posisi tengah.
4. sebuah potentiometer dengan jangkauan gerak 350° memiliki linearity sebesar 0.25% terhubung ke sumber tegangan 10-V. Potensiometer digunakan sebagai position sensor, tentukan kesalahan maksimum yang dapat terjadi?.
5. Sebuah potensiometer 350° wire-wound potentiometer diputar pada posisi 300 dan memiliki total resistance of $1\text{ k}\Omega$.
hitung resolution dalam ohm? Dan dalam derajat?
6. sebuah potensiometer 350° beroperasi dengan tegangan 5 Vdc. output potensiometer diubah ke bentuk binary melalui 8-bit ADC (5 Vdc). Tentukan 8-bit binary output ADC pada posisi 60° .

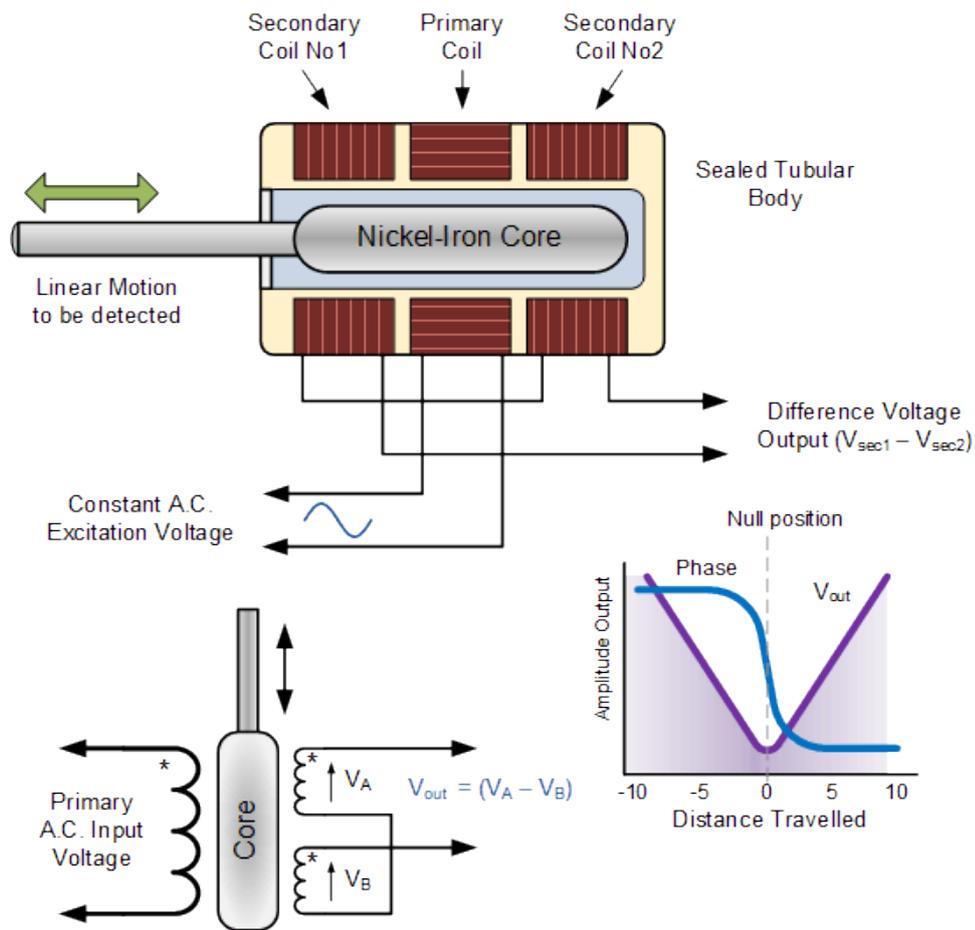
6. Linear Variable Differential Transformer

Salah satu sensor posisi yang tidak memiliki masalah pergerakan mekanikal adalah "Linear Variable Differential Transformer" atau disingkat LVDT. Sensor tipe ini beroperasi secara induktif atau lazim disebut sebagai *inductive type position sensor* yang beroperasi menggunakan prinsip induktif seperti transformator yang digunakan untuk mengukur atau mendeteksi gerakan. Sensor jenis ini memiliki akurasi sangat tinggi untuk mengukur pergerakan linear dan menghasilkan output proporsional terhadap posisi yang terhubung pada suatu inti magnetik yang bebas bergerak.

Sensor LVDT terdiri dari tiga koil yang terpasang pada bagian dalam suatu rongga berbentuk pipa, salah satu koil berfungsi sebagai koil primer (primary coil) dan dua koil lainnya yang identik berfungsi sebagai koil sekunder yang terhubung secara seri tetapi memiliki beda fasa 180° terhadap koil primer. Suatu inti magnetik lunak yang dapat bergerak bebas yang lazim disebut sebagai "armature" atau jangkar yang terhubung langsung pada obyek yang diukur atau dideteksi, yang dapat bergerak secara translasi keluar dan masuk di dalam pipa. Pada koil primer dihubungkan ke sumber tegangan referensi yang lazim disebut sebagai "excitation signal" (2 - 20V rms, 2 - 20kHz) sehingga dapat menghasilkan tegangan induksi pada kedua koil sekunder seperti halnya pada sebuah transformator.

Jika jangkar inti magnet lunak tersebut berada pada posisi tengah pipa dan koil, atau disebut sebagai "null position", tegangan induksi yang bangkit di kedua koil sekunder akan saling meniadakan karena keduanya memiliki beda fasa sebesar 180° sehingga output tegangan resultannya menjadi nol. Ketika jangkar inti magnet bergerak perlahan dari posisi nol (null position) maka tegangan induksi yang bangkit di salah satu koil sekunder lebih besar dari koil lainnya, sehingga dapat menghasilkan tegangan output proporsional terhadap posisi jangkar inti magnetnya .

Polaritas sinyal tegangan output tergantung pada arah langkah gerakan jangkar. Semakin besar gerakan jangkar dari posisi nol maka semakin besar pula sinyal tegangan output yang dihasilkannya. Hasil dari perbedaan tegangan output bervariasi terhadap posisi jangkar secara linear. Sehingga, sinyal output memiliki amplitudo dan polaritas yang linear terhadap pergerakan jangkar.



Gambar 1.13 Tipikal Rangkaian LVDT

Besaran fasa sinyal output dapat dibandingkan dengan fasa eksitasi pada koil primer sehingga memungkinkan suatu sirkit amplifier elektronik seperti AD592 LVDT Sensor Amplifier mampu mendeteksi posisi jangkar ketika berada di posisi nol dan arah pergerakan jangkarnya.

Ketika jangkar bergerak dari satu titik posisi ke titik posisi lainnya melalui posisi tengah, maka tegangan output berubah dari nilai maksimum, ke nilai nol, dan kemudin kembali ke nilai maksimum maka proses mengubah fasa sebesar 180° derajat. Hal ini memungkinkan LVDT menghasilkan sinyal tegangan output bolak-balik di mana jumlah amplitudonya merepresentasikan jumlah pergerakan dari posisi central dan sudut fasanya merepresentasikan arah pergerakan jangkar. Secara matematis, persamaan sinyal tegangan output (V_{out}) dapat dituliskan sebagai berikut: $V_{out} = V_A - V_B$ (Gambar 1.13)

Tipikal aplikasi dari sensor posisi tipe linear variable differential transformer (LVDT) adalah sebagai pressure transducer, di mana tekanan yang akan diukur menekan suatu diafragma sehingga menghasilkan suatu gaya tekan atau tekanan. Kemudian gaya tekan tersebut diubah menjadi sinyal tegangan yang terukur oleh sensor LVDT.

Keuntungan sensor linear variable differential transformer, atau LVDT dibandingkan dengan sebuah resistive potentiometer terletak pada kelinearannya, di mana tegangan output yang dihasilkan oleh sensor LVDT sangat linear, akurasi tinggi, resolusi tinggi, lebih sensitif karena tidak ada bagian yang bergesekan selama beroperasi.

Permasalahan:

1. Apa maksud penyambungan koil pada LVDT secara seri tetapi dengan polaritas berlawanan?
.....
.....
2. Uraikan bagaimana sirkit detektor pada LVDT digunakan untuk mendeteksi arah langkah gerak dari jangkarnya?
.....
.....
3. Kapan diperlukan untuk mengukur arah gerakan jangkar, dan juga banyaknya langkah jangkar?
.....
.....
4. Bagaimana pengaruh pada nul position pada LVDT jika resistor seri yang terpasang pada kedua koil sekunder berbeda resistansinya?
.....
.....
.....

B. Kegiatan Belajar 2

Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Kecepatan Sudut

Sensor kecepatan sudut atau *Angular velocity sensor*, atau *tachometer*, adalah piranti yang dapat memberi output proportional terhadap angular velocity. Sensor ini banyak dijumpai pada aplikasi sistem kendali kecepatan motor. Dapat digunakan pula pada aplikasi kendali posisi untuk menaikkan unjuk kerjanya.

Velocity atau kecepatan dapat diartikan sebagai perubahan posisi setiap saat. Dapat dinyatakan secara matematik,

$$Velocity = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$

Dimana:

$\Delta\theta$ = perubahan sudut

Δt = perubahan waktu

θ_2, θ_1 = posisi sampling

t_2, t_1 = waktu sampling

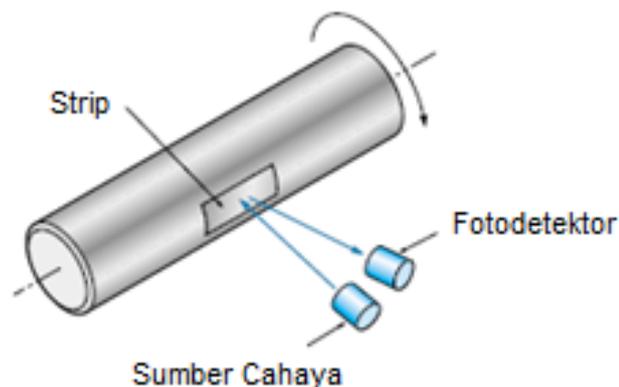
Karena komponen velocity adalah posisi dan waktu, maka mencari informasi velocity dari sample data dua posisi berurutan dimungkinkan, (bila kita tahu waktunya). Bila sistem telah memiliki sensor posisi, seperti potentiometer, dengan menggunakan cara ini tidak diperlukan lagi tambahan (velocity) sensor.

Lembar Kerja 1: Melalui lembar kerja ini kalian akan mempelajari tentang sistem, komponen dan operasi sensor kecepatan sudut. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan pengamatan melalui percobaan yang harus kalian lakukan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain agar kalian dapat melakukan pendalaman materi. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor pendeteksi kecepatan sudut, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas.

1. Tachometer Optik

Tachometer optik (Optical tachometer), adalah piranti sederhana, yang dapat menentukan kecepatan putaran poros dalam satuan putaran per menit (rpm). Seperti Gambar 2.1, suatu *contrasting stripe* direkatkan pada poros. Sebuah photo sensor dipasang agar dapat mendeteksi stripe tersebut.

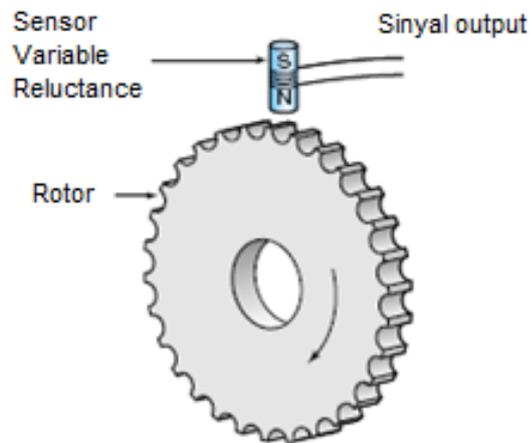
Sinyal yang diperoleh berbanding terbalik dengan rpm poros dan dapat diukur dengan menggunakan sirkuit counter seperti pada enkoder optik. Sistem ini tidak dapat mendeteksi posisi atau arah putaran.



Gambar 2.1 Tachometer Optik

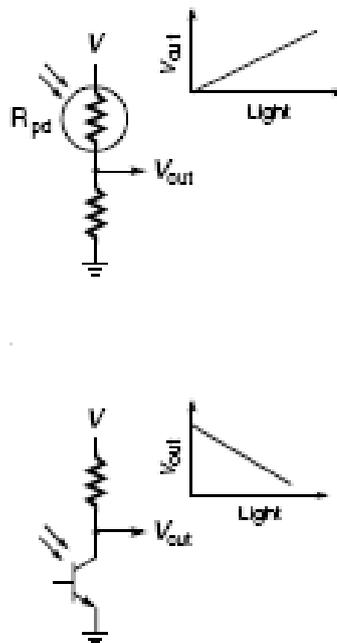
2. Tachometer Rotor Bergigi

Tachometer rotor bergigi (*Toothed-rotor tachometer*) terdiri dari sensor tetap dan berputar, gigi-gigi, piringan besi (Gambar 2.2). Piringan bergigi (seperti gigi pada roda gigi) adalah bagian yang akan diukur, misalnya Sensor menghasilkan pulsa setiap gigi terdeteksi oleh sensor. Kecepatan sudut putar dari roda proportional terhadap frekuensi pulsa. Misalnya, jika giginya berjumlah 20 gigi, maka sensor akan mengirim 20 pulsa setiap putaran. Dengan demikian dengan membandingkan jumlah pulsa pada setiap satuan waktu dapat ditentukan jumlah putaran porosnya.



Gambar 2.2 Tachometer Rotor Bergigi

Optical proximity sensor seringkali menggunakan reflector pada salah satu sisinya, yang memungkinkan detector dan sumber cahaya dikemas dalam satu kemasan. Dan juga, sumber cahaya dapat dimodulasi untuk memberikan sinar unik “signature” sehingga detector dapat membedakan antara sinar sumber cahaya dan sinar alami.

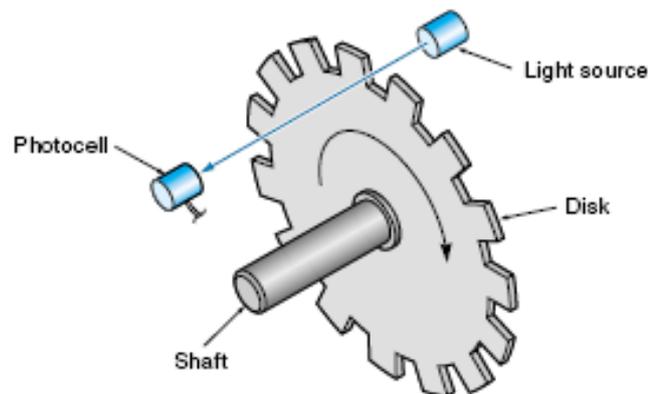


Gambar 2.3 Photo Sensor

Dua tipe photodetectors yang sering dipakai adalah photo resistor, dan photo transistors. (Gambar 2.3). sebuah photo resistor, terbuat dari bahan cadmium sulfide (CdS), memiliki sifat nilai resistance turun jika kuat cahayanya naik.

1. Optical Rotary Encoder

Optical rotary encoder menghasilkan data posisi angular (*angular position data*) secara langsung dalam bentuk digital, sehingga tidak memerlukan piranti lain misalnya ADC converter. Prinsipkerjanya diperlihatkan dalam Gambar 2.4 yang memperlihatkan slotted disk yang terpasang pada satu poros. Suatu sumber cahaya dan sebuah photocell dipasang sedemikian sehingga slots akan melewatkan cahaya ketika piringannya berputar. Sudut perputaran poros didapat dari output photocell. Ada dua tipe optical rotary encoders, yaitu: absolute encoder dan the incremental encoder.



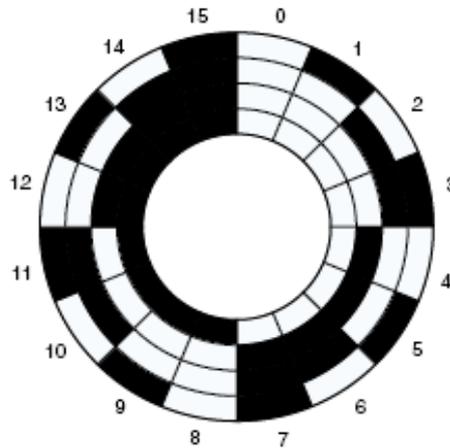
Gambar 2.4 Rotary encoder

Absolute Optical Encoder

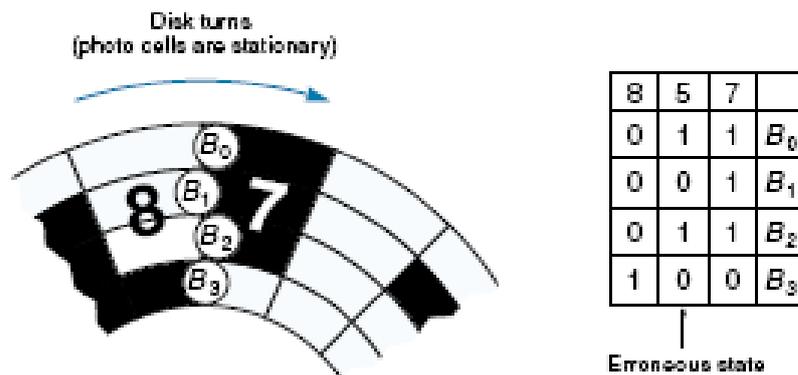
Absolute optical encoder menggunakan glass disk yang diberi tanda warna hitam mengikuti pola concentric track (Gambar 2.4), kemudian cahaya yang berasal dari sinar lampu dikirim pada setiap lintasan atau track diarahkan ke photo sensor.

Setiap photo sensor dapat memberikan 1 bit ke output digital word. Encoder pada gambar 3.16 memberikan output 4-bit word dengan LSB dihitung dari track atau

lintasan paling luar. Piringan gelas dibagi menjadi 16 sector, sehingga nilai resolusinya adalah $360^\circ/16 = 22.5^\circ$. Untuk menghasilkan resolusi yang lebih bagus, diperlukan tracks lebih banyak lagi. Misalnya, untuk 8 track (memberikan 256 state) jadi untuk 360 derajat diperoleh $360^\circ/256 = 1.4^\circ/\text{state}$, untuk 10 track (memberikan 1024 state) jadi untuk 360 derajat diperoleh $360^\circ/1024 = 0.35^\circ/\text{state}$.



Gambar 2.5 Absolute Rotary Encoder



Gambar 2.6 Pembacaan Absolute encoder

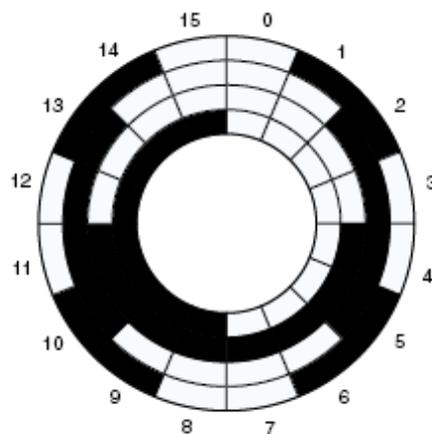
Kelebihan encoder ini adalah output dalam bentuk *straightforward digital* dan, seperti potensiometer, selalu memberikan posisi absolute. Hal ini sangat contrast dengan incremental encoder, yang hanya dapat memberikan relative position.

Kekurangan absolute encoder adalah relative lebih mahal karena memerlukan banyak photocells yang terpasang pada unitnya dan kelurusan pemasangan menjadi masalah yang serius, sehingga harus benar-benar presisi pemasangannya.

Bila absolute optical encoder tidak tepat pemasangannya, dapat memberikan data salah sewaktu-waktu. Gambar 2.6 memberikan gambaran situasi tersebut, dan hal ini akan terjadi bila lebih dari satu 1 bit berubah pada saat bersamaan, katakanlah, dari sector 7 (0111) ke 8 (1000). Dalam gambar tersebut, photo sensor tidak berada pada posisi lurus. Sehingga dalam kondisi tersebut sensor B1 tidak lurus dan merubah status dari logika 1 ke 0 sebelum yang lainnya berubah (B0, B2, dan B3). Hal ini akan memberikan data salah pada output 5 (0101).

Jika computer memerlukan data pada saat transisi ini, maka akan diperoleh jawaban yang salah. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan Grey code pada piringannya sebagai pengganti straight binary code. Dengan Grey code, hanya 1 bit yang berubah setiap perubahan dua sector.

Jika photocell keluar dari posisinya, hal terburuk yang terjadi misalnya output aktif mendahului atau terlambat. Maka error, tidak pernah melebihi nilai 1 LSB.

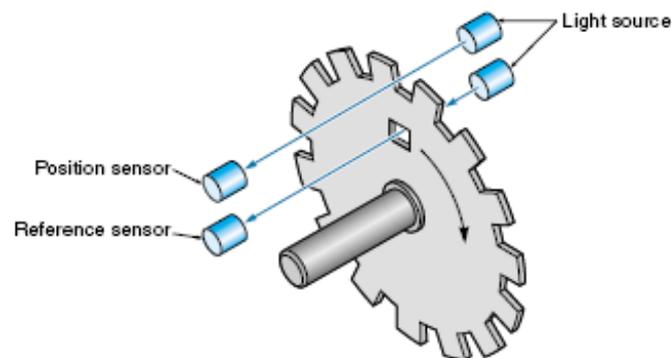


Gambar 2.7 Piringan dengan Grey Code

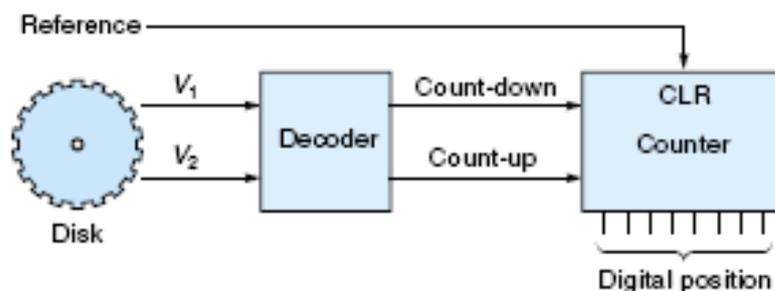
Incremental Optical Encoder

Incremental optical encoder (Gambar 2.8) hanya memiliki satu lintasan. Posisi ditentukan oleh pencacahan jumlah slot yang dilakukan oleh photo sensor, di mana setiap slot mewakili posisi sudut.

Sistem ini memerlukan titik acuan (*initial reference point*), yang dapat berasal dari sensor kedua yang terletak pada lintasan dalam atau berasal dari mechanical stop atau limit switch. Dalam banyak aplikasi, poros yang dideteksi dapat melakukan siklus dalam arah bolak-balik, dan berhenti pada sembarang sudut. Untuk mempertahankan posisi lintasan (*track*), piranti kontrol (controller) harus mengetahui arah putar piringannya dan jumlah slot yang sudah terdeteksi.



Gambar 2.9 Incremental encoder



Gambar 2.10 Blok diagram Incremental encoder

Lembar Kerja 2: Uraikan kembali prinsip operasi sensor kecepatan sudut berbasis encoder. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan

percoaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah encoder, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas.

C. Kegiatan Belajar 3

Menentukan Piranti-piranti Sensor Proximity

Proximity Sensor

Ada dua cara dasar untuk mendeteksi dan melaporkan kehadiran suatu obyek pada suatu lokasi secara digital yaitu, contact & proximity. Detector kehadiran obyek melalui kontak menyiratkan bahwa ada kontak mekanikal langsung dan menghasilkan gaya tekan antara sensor dan obyek yang dideteksinya. Sedang detector kehadiran obyek secara proximity menunjukkan bahwa obyek yang dideteksi tidak mengalami kontak langsung dengan sensor tetapi hanya mendekati. Sesi berikut ini, membahas berbagai jenis sensor untuk mendeteksi kehadiran obyek yang banyak digunakan dalam aplikasi industrial control. Gambar 3.1 memperlihatkan berbagai jenis sensor untuk mendeteksi dan melaporkan kehadiran obyek secara proximity.



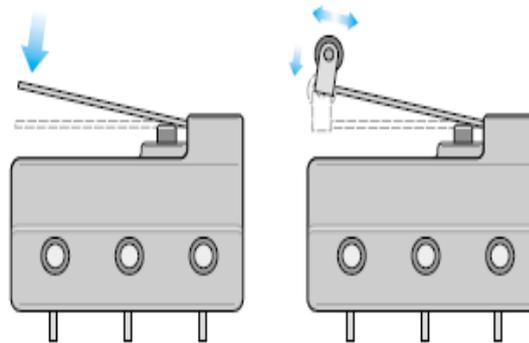
Gambar 3.1 Jenis Sensor Proximity

Lembar Kerja 1: Melalui lembar kerja ini kalian akan mempelajari tentang sistem, komponen dan operasi sensor proximity. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan

dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor proximity, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas.

1. Limit Switch

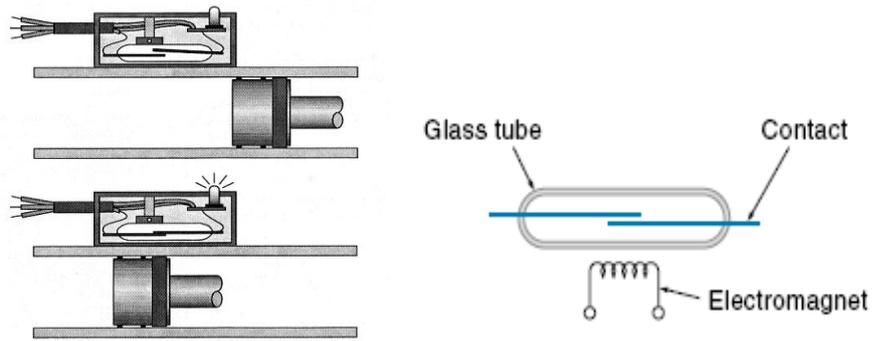
Kontak sakelar tersedia dalam kondisi NO (normally open) dan NC (normally closed). Kemasan sensor diperkuat sedemikian rupa sehingga ia dapat menerima gaya tekan mekanik secara berulang-ulang. Piranti deteksi pada titik kontaknya biasanya dilengkapi dengan sebuah roller dan wear pad. Contoh aplikasi sensor ini mencakup *motion limit switch* dan *part present detector*.



Gambar 3.2 Limit Switch

2. Reed Switch

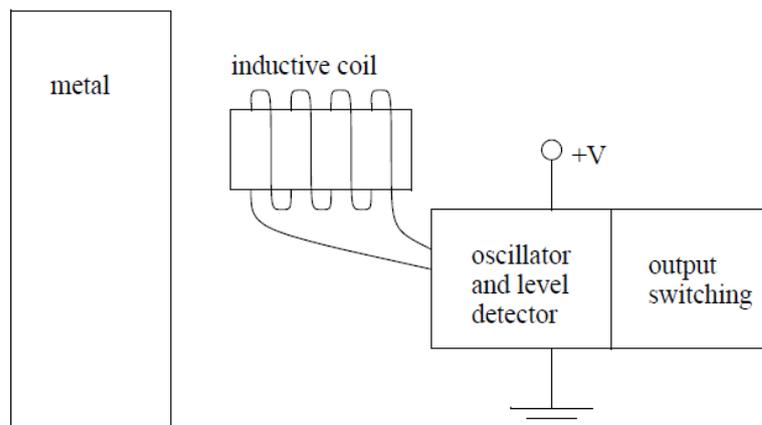
Reed switch sangat mirip dengan rele, bedanya, pada reed switch terdapat magnet permanen yang digunakan sebagai pengganti koil rele. Ketika magnet jauh dari obyek yang dideteksinya maka kontak rele akan terbuka, tetapi ketika magnet dibawa mendekati obyek maka kontak switch menutup. Reed switch lazim digunakan pada aplikasi safety screen dan pintu karena ia lebih sulit dikelabui daripada sensor lainnya.



Gambar 3.3 Reed Switch

3. Sensor Proximity Induktif

Sensor Proximity merupakan sensor yang paling lazim digunakan pada aplikasi yang memerlukan pendeteksian obyek tanpa adanya sentuhan langsung. Ada dua jenis sensor proximity, yaitu jenis induktif dan jenis kapasitif. Sensor proximity yang banyak digunakan adalah sensor proximity induktif. Sensor proximity induktif membangkitkan medan elektromagnetik untuk mendeteksi obyek metal yang berada dalam jangkauan medan elektromagnetnya. Gambar 3.4 memperlihatkan prinsip sensor proximity induktif.

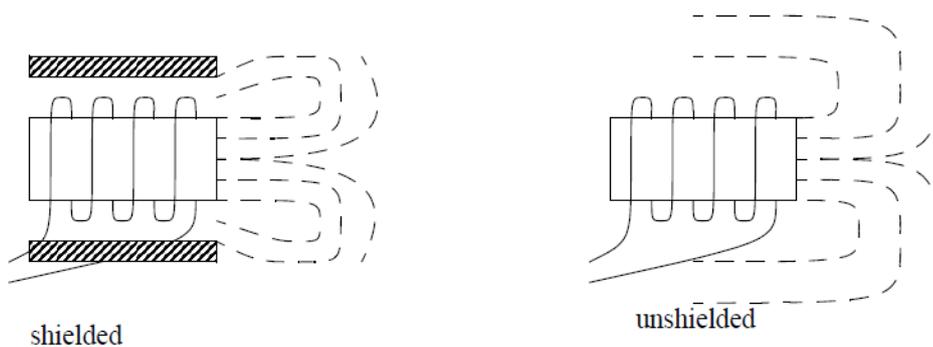


Gambar 3.4 Rangkaian dasar Proximity Sensor

Prinsip kerja sensor ini berdasarkan medan magnet frekuensi tinggi. Jika target berada di dekat medan magnet maka akan terinduksi sehingga bangkit eddy current. Arus eddy current ini mengkonsumsi daya karena memiliki resistansi, sehingga energi medan magnetnya berkurang, demikian juga amplitudo sinyalnya juga turun. Detektor memeriksa kekuatan medan magnet untuk menentukan apakah penurunannya sudah mencukupi untuk merubah status switch.

Sensor Induktif menggunakan arus yang diinduksikan oleh medan magnet untuk mendeteksi keberadaan objek metal. Sensor induktif menggunakan koil untuk membangkitkan medan magnetik frekuensi tinggi seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.4. Jika ada objek metal berada di dalam medan magnet tersebut maka akan ada arus mengalir di dalam objek. Arus ini akan menghasilkan medan magnet baru yang melawan medan magnet utama. Akibatnya akan mengubah induktansi koil sensor induktif. Dengan mengukur induktansi sensor dapat menentukan kapan objek metal berada didekat sensor.

Sensor ini dapat mendeteksi keberadaan objek metal yang jaraknya beberapa centimeter, dengan arah sembarang, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.5. Medan magnet pada sensor unshielded mencakupi volume yang lebih besar melewati kepala koil. Dengan menambah shield (selubung metal pada coil) maka medan magnetik menjadi mengecil, tetapi lebih terarah. Penambahan Shield dapat meningkatkan akurasi arah keberadaan objek yang dideteksi.



Gambar 3.5 Prinsip Proximity Sensor

4. Inductive Proximity Sensors.

Sensor induktif lain yang juga cukup populer adalah *Inductive Proximity Sensor* yang lazim disebut juga sebagai *Eddy current sensor*. Sensor induktif proximity ini tidak mendeteksi langkah dari suatu gerakan teranslasi atau kecepatan sudut dari pergerakan rotasi, melainkan hanya mendeteksi kehadiran suatu obyek yang berada di dekat atau di depannya, sehingga sensor ini dinamakan dengan *proximity sensor*.



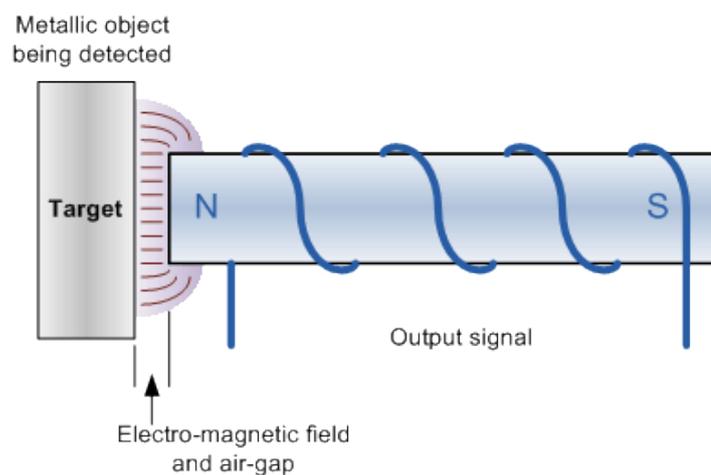
Gambar 3.6 Tipikal Inductive Proximity Sensor

Proximity sensor, merupakan piranti sensor yang tidak membuat kontak fisik dengan obyek yang dideteksinya. Bekerjanya sensor proximity ini berdasarkan medan magnet untuk mendeteksi suatu obyek metal. Contoh dari sensor ini adalah reed switch. Pada sensor induktif, suatu koil diletakkan pada suatu inti magnet sehingga menghasilkan jerat (*loop*) induktif.

Jika suatu bahan ferromagnetic berada di dalam medan magnet (*eddy current field*) yang dibangkitkan oleh sebuah inductive sensor, seperti plat metal ferromagnetic atau metal screw, maka induktansi koil akan berubah secara signifikan. Rangkaian sensor proximity mendeteksi perubahan dan menghasilkan tegangan output. Jadi, inductive proximity sensor beroperasi berdasarkan prinsip listrik dari hukum induktansi yang dikemukakan oleh Faraday (Hukum Induktansi dari Faraday).

Inductive proximity sensor terdiri dari empat komponen utama. Osilator yang memproduksi medan elektromagnetik, koil yang membangkitkan medan magnet,

detection circuit yang mendeteksi adanya perubahan dalam medan magnet ketika adanya suatu obyek yang masuk ke dalam medan magnet, dan circuit output yang memproduksi sinyal output, dan pasangan kontak normally closed dan normally open. Inductive proximity sensor mampu mendeteksi obyek metal yang berada di dekat kepala sensor tanpa adanya kontak fisik antara obyek metal dan kepala sensor. Sensor ini sangat ideal digunakan pada lingkungan yang kotor atau lembab. Rentang pendeteksian sensor ini cukup pendek, yaitu mulai dari 0.1mm hingga 12mm.



Gambar 3.7 Prinsip Kerja Inductive Proximity Sensor

Disamping untuk pemakaian di industri (untuk otomatisasi proses manufaktur di industri), inductive proximity sensor juga digunakan untuk perubahan lamapu lalu lintas (traffic light) pada perempatan atau penyeberangan jalan. Inductive loop berbentuk persegi dari penghantar ditanam di permukaan jalan dan ketika ada kendaraan yang lewat di atas loop, maka badan mobil dari metal merubah nilai induktansinya dan mengaktifkan sensor sehingga memberi tahu ke pengontrol lampu lalu lintas bahwa ada kendaraan (mobil) yang sedang menunggu.

Satu kelemahan utama dari sensor proximity ini adalah "Omni-directional", yang berarti sensor tersebut mampu mendeteksi obyek metal yang berada di atas, di bawah dan di samping loop. Dan juga, sensor tersebut tidak mampu mendeteksi obyek non

metal. Jenis lain dari sensor berbasis magnetik adalah reed switches, hall effect sensors dan variable reluctance sensors.

5. Sensor Capacitive Proximity

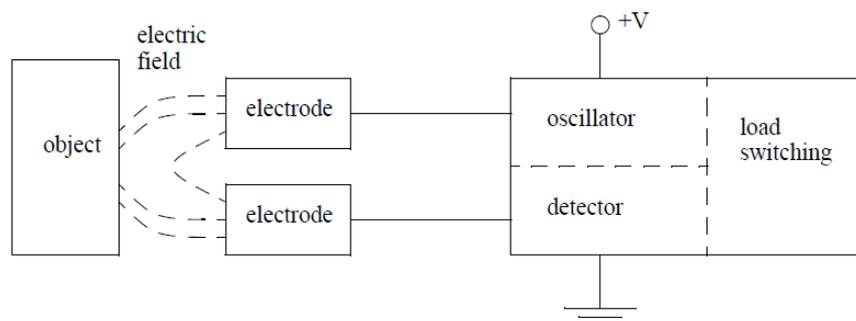
Sensor proximity kapasitif ini bekerja bagus bagi bahan isolator seperti gelas dan plastik, yang cenderung memiliki koefisien dielektrikum yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan nilai kapasitansinya. Tetapi, sensor ini juga bekerja secara efektif pada obyek metal karena bahan konduktif yang berada di dalam target muncul sebagai elektroda yang lebih besar, sehingga menaikkan nilai kapasitansinya juga.

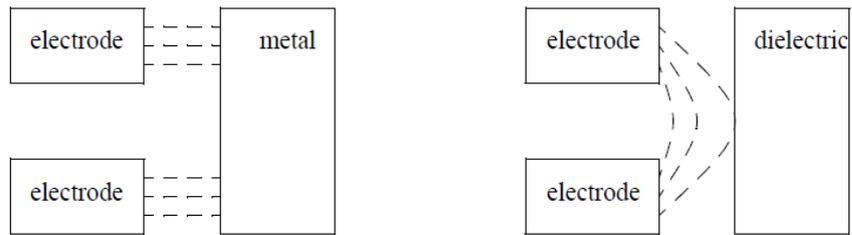
Secara matematik nilai kapasitansi ditentukan dengan formula sebagai berikut:

$$C = \frac{A\epsilon k}{d}$$

Di mana,
C : Kapasitansi
k : Konstanta dielektrikum
A : luas area plat
d : jarak antar plat

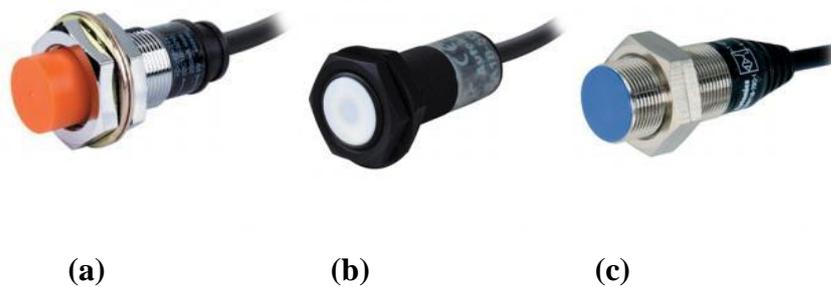
Pada sensor kapasitif, luas area pelat dan jarak antar pelat adalah tetap. Tetapi, konstanta dielektrikum pada ruang sekitarnya akan bervariasi tergantung material yang berada di dekat sensor seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.8. Medan beresilasi digunakan untuk menentukan nilai kapasitansi pelat. Jika nilai kapasitansi pelat berubah, maka sensor akan menjadi aktif.





Gambar 3.8 Prinsip Pendeteksian Proximity Sensor

Sensor proximity merupakan teknologi pensensoran yang paling mudah diterapkan pada aplikasi di mana obyek metal yang dideteksinya berada dalam jarak antara 1 sampai 2 inchi. Berikut ini diperlihatkan berbagai jenis sensor proximity yang terdapat di pasaran. Gambar 3.9 (a) adalah sensor proximity jenis Cylindrical, (b) jenis Spatter Resistance, dan (c) jenis Long Distance.



Gambar 3.9 Jenis Sensor Proximity



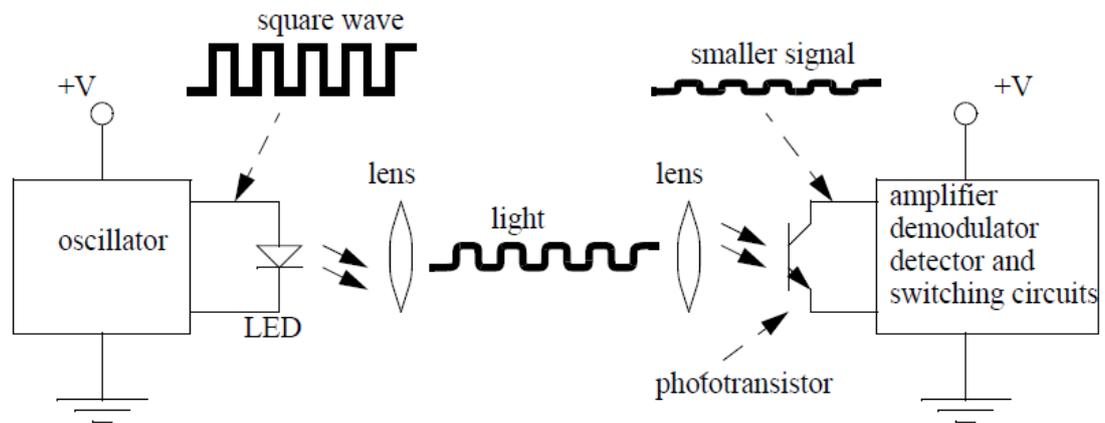
Gambar 3.10 Contoh Aplikasi Sensor Proximity

6. Sensor Optik

Light sensor telah sudah digunakan hampir satu abad, pada awalnya photocell digunakan untuk aplikasi khusus seperti pembacaan audio track pada gambar bergerak (motion picture). Tetapi di abad modern seperti saat ini sensor optik sensor semakin canggih. Sensor Optik memerlukan sumber cahaya (emitter) dan detector. Emitter akan menghasilkan cahaya (visible & invisible spectrum) menggunakan LED dan laser diode. Detector biasanya dibuat dari photodiode atau phototransistor. Emitter dan detector diposisikan sedemikian sehingga obyek yang dideteksi akan menghalangi (block) atau memantulkan (reflect) cahaya. Gambar 3.11 memperlihatkan tipikal sensor optik.

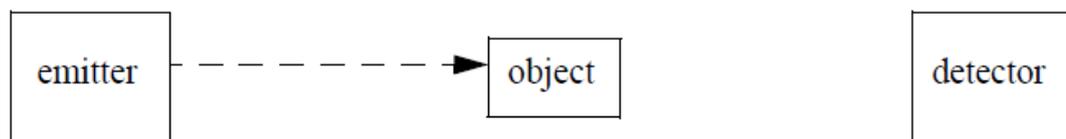
Dalam gambar 3.11 cahaya dibangkitkan di sisi kiri, difokuskan melalui sebuah lensa. Pada sisi detector side cahaya difokuskan ke detector melalui lensa kedua. Jika cahaya terhalangi maka detector memperlihatkan adanya kehadiran suatu obyek. Gelombang cahaya yang beresilasi digunakan sehingga sensor dapat mem-filter cahaya normal di dalam ruang. Cahaya dari emitter dihidupkan (turned on) dan dimatikan (off) dengan frekuensi tertentu. Ketika detector menerima cahaya akan

diperiksa untuk memastikan apakah memiliki frekuensi yang sama. Jika cahaya yang diterima memiliki frekuensi yang sama berarti tidak ada obyek yang menghalanginya. Frekuensi osilasi cahaya berada dalam rentang kilo Herzt (kHz range). Penggunaan frekuensi tinggi ini agar sensor dapat digunakan dengan daya rendah dan jarak yang lebih panjang.



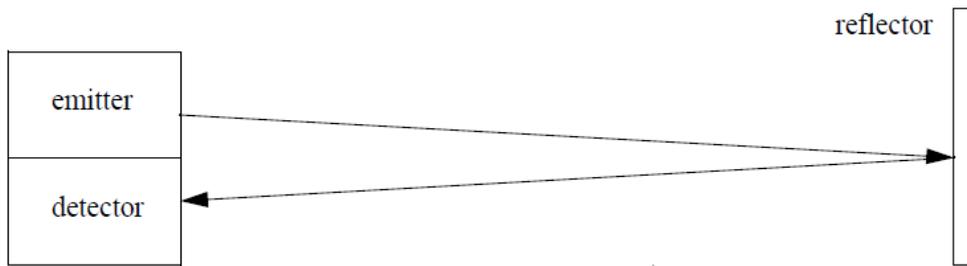
Gambar 3.11 Rangkaian Dasar Optical Sensor

Sebuah emitter dapat di set up berhadapan langsung ke detector, cara ini disebut sebagai opposed mode. Jika cahaya terhalang maka keberadaan obyek akan terdeteksi. Sensor ini memerlukan dua komponen, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.12. Susunan tersebut bekerja dengan bagus pada jarak lebih dari tigapuluh meter.



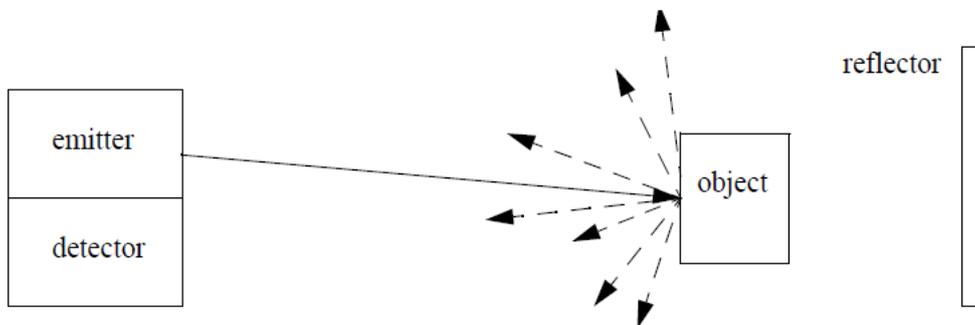
Gambar 3.12 Contoh Aplikasi Optical Sensor

Dengan susunan emitter dan detector terpisah, akan meningkatkan masalah pemeliharannya, dan memerlukan kepresisian dalam pemasangan keduanya. Solusi yang dianjurkan adalah membuat emitter dan detector dalam satu unit rumah. Tetapi, hal ini memerlukan cahaya harus dapat dipantulkan dengan bagus seperti Gambar 3.13. Cara ini sesuai untuk mendeteksi obyek dengan ketinggian lebih dari 30 centimeter.



Gambar 3.13 Contoh Aplikasi Optical Sensor dengan Reflektor

Reflektor yang digunakan dikonstruksi dengan layar polarisasi dengan orientasi sudut 90 derajat. Jika cahaya dipantulkan kembali secara langsung tidak mengenai screen di depan detector, maka harus diputar sehingga dapat dipantulkan melalui screen di depan detector.

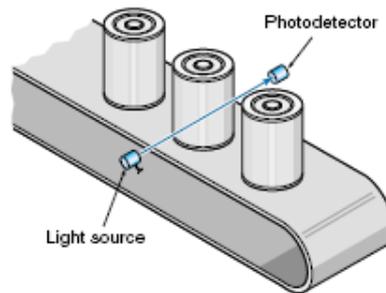


Gambar 3.14 Aplikasi Optical Sensor dengan Penghalang

Pada gambar 3.14 cahaya yang dikirim emitter dipantulkan kembali. Jika cahaya dipantulkan oleh reflector maka hampir seluruh cahaya dipantulkan kembali ke detector. Jika ada object menghalangi cahaya antara emitter dan reflector maka tidak seluruh cahaya dapat dipantulkan ke detector, sehingga sensor akan menjadi active. Problem potensial yang terdapat pada sensor ini adalah jika obyek tidak dapat memantulkan cahaya dengan sempurna. Problem ini dapat diatasi dengan mempolarisasikan cahaya pada emitter (dengan filter), dan menggunakan filter pula pada sisi detector.

Sensor proksimiti optik (*Optical proximity sensor*), sering disebut sebagai *interrupter*, menggunakan sumber cahaya dan photo sensor yang dipasang sedemikian sehingga obyek akan terdeteksi bila memotong cahaya tersebut.

Gambar 3.15 memperlihatkan dua aplikasi menggunakan *photodetector*. *Photodetector* mencacah jumlah can pada lini perakitan. Sensor proksimiti optik seringkali menggunakan reflector pada salah satu sisinya, yang memungkinkan piranti detektor dan sumber cahaya dikemas dalam satu kemasan. Dan juga, sumber cahaya dapat dimodulasi untuk memberikan sinar unik “khusus” sehingga detector dapat membedakan antara sinar sumber cahaya dan sinar alami.



Gambar 3.15 Penerapan Sensor Proksimiti Optik

Lembar Tugas 2: Uraikan kembali prinsip operasi sensor proximity berbasis optikal. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah optical proximity sensor, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas.

D. Kegiatan Belajar 4

Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Beban, dan Tekanan

Untuk mencapai operasi yang optimal, ada beberapa industri yang memerlukan pendeteksian besaran fisis, meliputi masa, suhu, tekanan, dan aliran. Misalnya pabrik gula, pabrik semen, pabrik makanan dan minuman. Kalian perlu mendalami masalah tersebut. Karena akan kalian jumpai kelak ketika kalian sudah bekerja. Gunakan kemampuan kalian dan pompa semangat kalian untuk menguasai kompetensi ini.

Lembar Kerja 1: Melalui lembar kerja ini kalian akan mempelajari tentang sistem, komponen dan operasi beberapa sensor yang berfungsi mendeteksi besaran fisis, antara lain masa dan tekanan suatu zat atau benda. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan pengamatan melalui percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor proximity, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas untuk mendapat tanggapan dari kelompok lain dan juga dari guru.

1. Sensor Beban

Load sensor mengukur mechanical force. Gaya atau force dapat diatur besar atau kecil—misalnya, menimbang benda berat atau mendeteksi gaya tekan lemah. Dalam banyak kasus, ada sedikit deformasi yang disebabkan oleh gaya tekan atau force yang akan diukur oleh sensor, bukan gaya tekan secara langsung.

Menurut Hooke, perbandingan antara gaya tekan (force) dan deformasi adalah constant untuk semua bahan, yaitu Hooke's law:

$$F = KX$$

Di mana

K = konstanta pegas bahan

F = Gaya tekan

X = perubahan panjang akibat gaya tekan

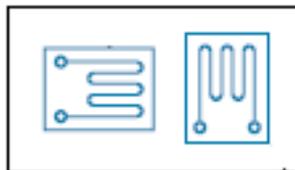
Sebagai contoh, bila suatu bahan mempunyai konstanta pegas (spring constant) sebesar 1000 lb/in. dan bahan itu di compresses 0.5 in. Ketika menerima beban, maka gaya tekan beban adalah 500 lb.

1.1. Bounded-wire Strain gauge

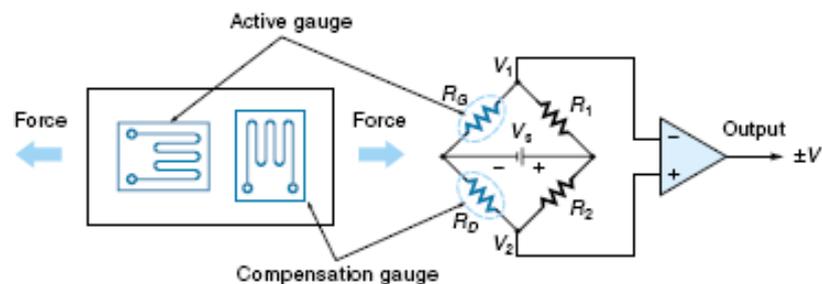
Bonded-wire strain gauge dapat digunakan untuk mengukur gaya tekan dalam rentang yang lebar, dari 10 lb hingga beberapa ton. Strain gauge terdiri dari

penghantar tipis (0.001 in.) dibentuk sedemikian rupa seperti Gambar 4.1. di atas papan tercetak (PCB). Prinsip operasinya sebagai berikut, bilaobyek tersebut mendapat tekanan maka starin gauge akan melengkung demikian juga penghantarnya. Akibatnya resistan bahan naik.

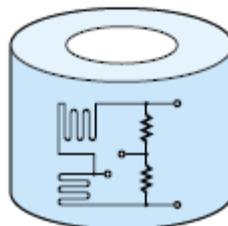
Pada aplikasinya, strain gauge dirangkai dalam suatu sirkit jembatan. Pada saat seimbang, maka tidak ada beda potensial. Tetapi ketika resistan starin gauge berubah keseimbangan jembatan tidak dapat dipertahankan. Beda potensial yang diperoleh kemudian dikuatkan oleh amplifier, agar dapat digunakan untuk suatu keperluan. (control atau display).



Gambar 4.1 Strain gauge



Gambar 4.2 Sirkit Sensor Strain gauge



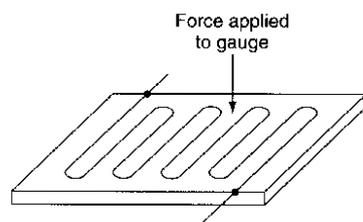
Gambar 4.3 Tipikal Load Cell

Salah satu piranti deteksi yang memanfaatkan variasi resistan karena perubahan dimensi adalah strain gauge. Piranti deteksi yang digunakan untuk pengukuran gaya tekan (strain) lazim disebut Strain Gauge. Piranti ini terdiri dari konduktor panjang tetapi dengan luas penampang yang sangat kecil. Gauge ini diletakkan pada suatu permukaan benda (plat). yang akan melengkung mendapat tekanan. Akibat perubahan bentuk benda tersebut maka akan merubah pula nilai resistansi konduktor tersebut. Dalam hal ini, ratio perubahan resistan gauge dengan nilai awalnya proportional dengan ratio perubahan panjang benda dari nilai awalnya.

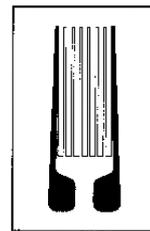
1.2. Wire Strain Gauge

Salah satu jenis strain gauge adalah unbonded metal wire strain gauge. Saat ini sudah jarang dipakai. Jenis yang lebih umum diperlihatkan dalam gambar berikut ini.

- Bonded wire strain gauge
- Metal Foil Gauge
- Semiconductor Strain Gauge
- Strain Gauge Rosettes

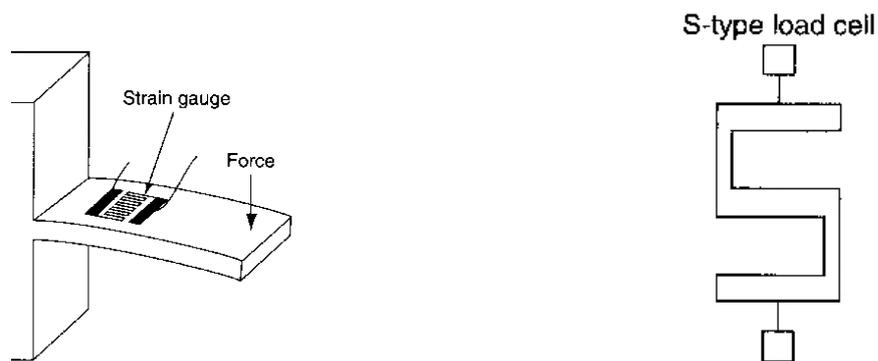


(a) Wire type



(b) Foil type

Gambar 4.4 Bentuk Lain Strain Gauge



Gambar 4.5 Dua cara Bekerjanya Strain Gauge

Semiconductor Forced Sensor

Cara lain untuk mendapatkan force sensor adalah menggunakan bahan silicon yang disebut piezoresistive effect. Bahan ini akan berubah resistance ketika menerima gaya tekan. Bahan ini lebih peka 25-100 kali dari pada bonded wire strain gauge.

Lembar Kerja 2: Uraikan kembali prinsip operasi sensor beban berbasis strain gauge. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah strain gauge, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presenasikan di kelas

2. Sensor Tekanan

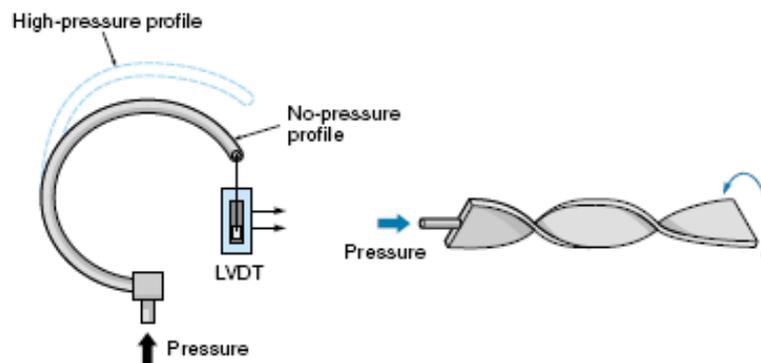
Pressure atau tekanan dinyatakan sebagai gaya atau force per unit luas area. Contoh, Sebuah tabung diletakkan di atas meja. Bila masa tabung 10-lb dan luas area yang menyentuh meja adalah 4 in², sehingga tekakan tabung ke meja adalah 2.5 lb/in² ($10 \text{ lb} / 4 \text{ in}^2 = 2.5 \text{ lb/in}^2$, atau 2.5 psi). Dalam satuan internasional, tekanan diukur dalam satuan Newtons per square meter (N/m²), atau disebut Pascal (Pa).

Pressure sensor biasanya terdiri dari dua bagian: yang pertama mengubah tekanan atau pressure menjadi gaya atau gerakan, dan yang kedua mengubah gaya atau gerakan menjadi electrical signal.

Pengukuran tekanan hanya diterapkan pada gas dan liquid. Alat pengukur tekanan relatif disebut gauge pressure. Di atas permukaan laut, ambient pressure sama dengan atmospheric pressure yakni sebesar 14.7 psi, atau 101.3 kiloPascal (kPa). Alat yang agak rumit adalah mengukur perbedaan tekanan atau differential pressure. Dan tipe yang ketiga mengukur tekanan absolut adalah absolute pressure.

2.1. Bourdon Tube

Bourdon tube merupakan suatu tabung pendek melengkung, tertutup pada satu sisinya. Bila tabung mendapat tekanan, tabung akan bergerak memanjang. Gerakan memanjang prporionnal dengan besaran tekanan. Gambar 4.4 memperlihatkan Bourdon Tube. Bourdon-tube sensor tersedia dengan rentang tekanan dari 30 hingga 100,000 psi.

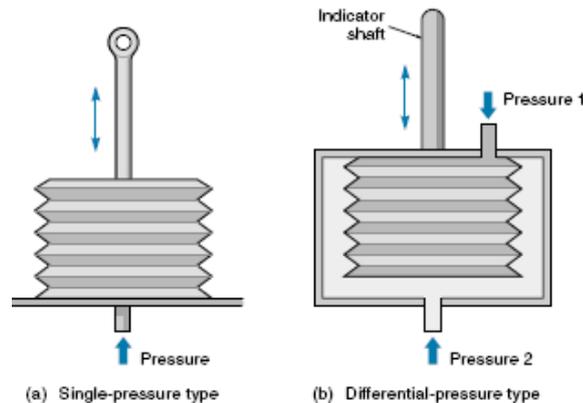


Gambar 4.6 Bourdon Gauge

2.2. Bellow

Suatu sensor yang menggunakan metal bellows untuk mengubah tekanan menjadi gerakan linear motion diperlihatkan dalam Gambar 4.7. jika tekanan di dalam bellow naik maka bellows memanjang melawan kekuatan pegas (yang dimiliki oleh bellow). Gerakan ini dideteksi oleh potensiometer sensor. Gambar 4.7

(b) memperlihatkan sebuah differential pressure sensor. Posisi poros merupakan fungsi perbedaan tekanan inside dan outside. Bellow lebih sensitive daripada Bourdon tube pada tekanan rendah dengan rentang 0-30 psi.



Gambar 4.7 Bellow

Lembar Kerja 3: Uraikan kembali prinsip operasi sensor tekanan berbasis bellow dan bourdon tube. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor tekanan, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presenasikan di kelas.

E. Kegiatan Belajar 5

Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Suhu

Untuk mencapai operasi yang optimal, ada beberapa industri yang memerlukan pendeteksian besaran fisis suhu. Misalnya pabrik gula, pabrik semen, pabrik makanan dan minuman. Kalian perlu mendalami masalah tersebut. Karena akan kalian jumpai kelak ketika kalian sudah bekerja. Gunakan kemampuan kalian dan pompa semangat kalian untuk menguasai kompetensi ini.

1. Sensor Suhu

Sensor yang paling banyak digunakan adalah sensor yang mampu mendeteksi suhu dan panas. Sensor suhu tersedia dalam banyak variasi, mulai dari yang paling sederhana yakni piranti thermoswitch atau thermostat yang beroperasi secara digital (on/off) untuk mengontrol sistem pemanas air domestik hingga ke tipe semikonduktor yang sangat sensitif yang mampu mengontrol proses kontrol yang kompleks.

Kalian tentunya masih ingat tentang teori atom dan molekul, bahwa pergerakan molekul dan atom menghasilkan panas (energi kinetik). Semakin besar pergerakan yang terjadi, akan semakin besar energi panas yang dibangkitkan. Sensor suhu mengukur jumlah energi panas atau tingkat kedinginan yang dibangkitkan dalam suatu obyek atau suatu sistem, sehingga memungkinkan kita mendeteksi atau merasakan adanya perubahan fisik pada suhunya sehingga memberikan output analog ataupun output digital.

Telah tersedia berbagai jenis sensor suhu dan mereka memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung pada aplikasi aktualnya. Sensor suhu terdiri dari dua tipe fisik dasar, yaitu: (1) Sensor suhu tipe kontak fisik – jenis sensor suhu seperti ini memerlukan kontak fisik antara obyek yang diukur dengan piranti deteksi dari sensor suhu dengan memanfaatkan pemindahan panas secara konduksi untuk memonitor perubahan suhu. Sensor jenis ini dapat digunakan untuk mendeteksi benda padat, cair atau gas pada rentang suhu yang lebar. (2) Sensor suhu tipe non-kontak fisik – jenis sensor ini memanfaatkan pemindahan panas secara konveksi dan radiasi untuk memonitor perubahan suhu. Sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi zat cair dan gas yang mengemisikan energi radian dari arus konveksi dalam bentuk kenaikan panas atau dingin dari bawah ke atas atau mendeteksi energi radian yang ditransmisikan dari suatu obyek dalam bentuk radiasi infra merah.

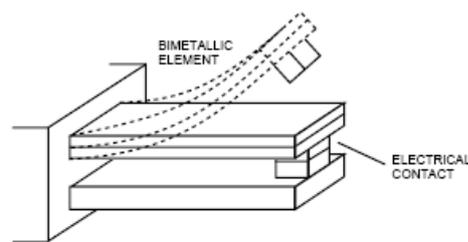
Kedua jenis sensor suhu tersebut baik yang memerlukan kontak fisik atau yang tidak memerlukan kontak fisik juga dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu (1) kelompok elektro-mekanikal, (2) kelompok resistif dan (3) kelompok elektronik.

Lembar Kerja 1: Melalui lembar kerja ini kalian akan mempelajari tentang sistem, komponen dan operasi beberapa sensor yang berfungsi mendeteksi besaran fisis

suhu. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor proximity, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas untuk mendapat tanggapan dari kelompok lain dan juga dari guru.

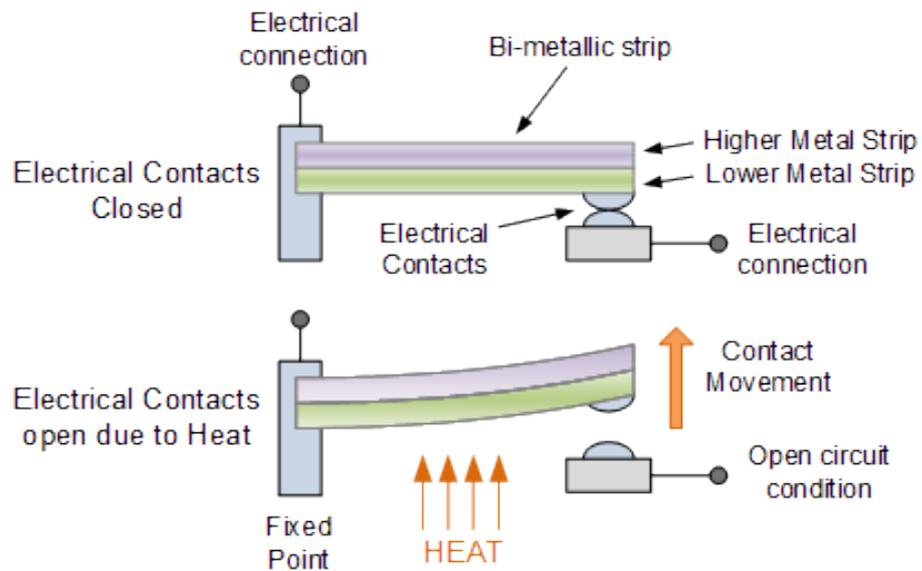
2. Sensor suhu Bimetalik

Sensor suhu bimetalik atau lazim disebut sebagai *thermostat* atau *Bimetallic switches* seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.8 banyak digunakan sebagai on-off temperature control system. Bila dua metal strips yang memiliki *coefficients of thermal expansion berbeda* ditempel jadi satu, maka bimetallic structure akan melengkung bila sugunya berubah.



Gambar 5.1 Bimetal switch

Thermostat termasuk dalam kelompok sensor suhu atau sakelar otomatis yang memerlukan kontak fisik dengan obyek yang diukur yang beroperasi secara elektromekanik. Thermostat terdiri dari paduan dua metal yang berbeda seperti nikel, tembaga, tungsten atau aluminium dll, yang digabung menjadi satu sehingga membentuk strip bimetal (**Bi-metallic strip**). Perbedaan muai panjang antara kedua jenis metal menyebabkan adanya gerakan mekanik yang cenderung melengkung ketika strip bimetal mendapat transfer energi panas. Pada thermostat, strip bimetal digunakan untuk mengaktifkan kontak sakelar dan dapat digunakan secara luas untuk mengontrol elemen pemanas dalam boiler, furnace, pemanas air dan juga untuk sistem pendinginan radiator.



Gambar 5.2 Tipikal Bimetalik Thermostat

Thermostat terdiri dari dua metal yang memiliki nuai panjang berbeda yang digabung atau direkatkan dalam satu ikatan. Ketika dalam kondisi dingin kontak thermostat menutup sehingga arus listrik dapat mengalir melalui kontak thermostat. Jika kondisi strip bimetal mulai panas, maka salah satu metal akan memanjang lebih panjang dari metal lainnya, sehingga strip bimetal cenderung melengkung ke atas atau kebawah. Gerakan melengkung ini dimanfaatkan untuk membuka kontak thermostat, sehingga memutuskan arus listrik .



Gambar 5.3 Tipikal On/Off Thermostat

Ada dua tipe strip bimetal berdasarkan pergerakan yang dilakukannya akibat adanya perubahan suhu. Tipe pertama adalah "*snap-action*" yakni yang menghasilkan aksi buka/tutup kontak secara langsung pada titik suhu yangtelah ditetapkan. Tipe kedua adalah slower "*creep-action*" yakni aksi pemutusan atau pembukaan kontak dilakukan secara tidak langsung tetapi secara gradual mengikuti perubahan suhu.

Thermostat tipe *Snap-action* lazim digunakan untuk pengontrolan suhu peralatan rumah tangga seperti seterika listrik, tangki pemanas air, dan dijumpai pula pada pengontrolan suhu ruang pada suatu unit tata udara.

Thermostat tipe creeper, terdiri dari koil bimetal atau spiral bimetal yang akan mengembang secara perlahan ketika mengalami perubahan suhu. Biasanya, thermostat tipe creeper ini lebih sensitif terhadap perubahan suhu dibandingkan dengan tipe snapper. Thermostat tipe creeper digunakan pada temperature gauge dan temperature dial.

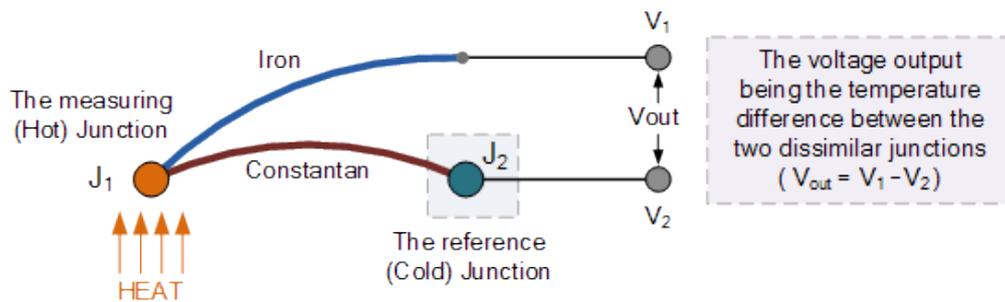
Meskipun thermostat tipe snapper lebih murah, tetapi memiliki kelamahan utama yaitu rentang histerisis yang lebar ketika kontak mulai membuka atau menutup kembali. Misalnya, thermostat diatur pada set point 20°C tetapi baru akan membuka kontaknya pada suhu 22°C dan akan menutup kembali pada suhu 18°C .

3. Thermocouple

Thermocouple merupakan piranti yang paling banyak digunakan sebagai piranti pendeteksi suhu karena prinsip yang sangat sederhana, mudahmenggunakannya, dan memiliki respon cepat terhadap perubahan suhu. Thermocouple juga memiliki rentang suhu yang lebih lebar mulai dari -200°C hingga mencapai 2000°C .

Thermocouple merupakan sensor thermoelectric yang terdiri dari sambungan dua jenis metal berbeda, seperti kawat tembaga dan kontantan di mana kedua ujung metal tersebut dihubungkan menjadi satu titik sambungan yang direkatkan dengan las. Satu titik sambungan dijaga pada suhu konstan dan disebut sebagai reference

(Cold) junction, sedang sambungan lainnya disebut sebagai measuring (Hot) junction. Jika kedua titik sambungan memiliki suhu yang berbeda, maka akan dibangkitkan tegangan pada kedua ujung metal proporsional terhadap perubahan suhu yang dirasakannya.



Gambar 5.4 Thermocouple

Lembar Kerja 2: Uraikan kembali prinsip operasi sensor suhu berbasis termokopel. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah thermocouple, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presenasikan di kelas.

Thermocouple bekerja berdasarkan efek "thermo-electric". Sambungan tembaga dan konstantan yang mendapat energi panas akan menimbulkan efek thermo-electric pada kedua jenis metal tersebut sehingga terjadi perbedaan potensial pada kedua ujung bahan metal tersebut walaupun sinyalnya masih sangat lemah hanya beberapa millivolt (mV). Perbedaan tegangan di antara kedua sambungan tersebut lazim disebut sebagai "Seebeck effect" karena gradien suhu yang bangkit sepanjang kawat penghantar memproduksi electromotive force (emf). Tegangan output yang bangkit pada thermocouple sebanding dengan perubahan suhu yang dirasakannya.

Jika pada kedua sambungan (junction) memiliki suhu yang sama maka perbedaan potensial antara kedua sambungan menjadi nol, karena $V_1 = V_2$. Tetapi,

ketika kedua sambungan memiliki suhu yang berbeda akibat stimulus dari luar, akan akan terdeteksi tegangan output pada kedua sambungan yang besarnya tergantung pada perbedaan suhu pada kedua sambungan, di mana besarnya tegangan output adalah $V_1 - V_2$. Perbedaan tegangan ini akan terus meningkat seiring dengan perubahan suhu pada kedua sambungan sampai mencapai nilai maksimum yang dapat dicapainya yang nilainya tergantung karakteristik dari metal yang digunakan pada thermocouple. Thermocouple dapat dibuat dari berbagai jenis kawat penghantar. Thermocouple dapat beroperasi pada rentang suhu yang sangat lebar antara -200°C to over $+2000^{\circ}\text{C}$.

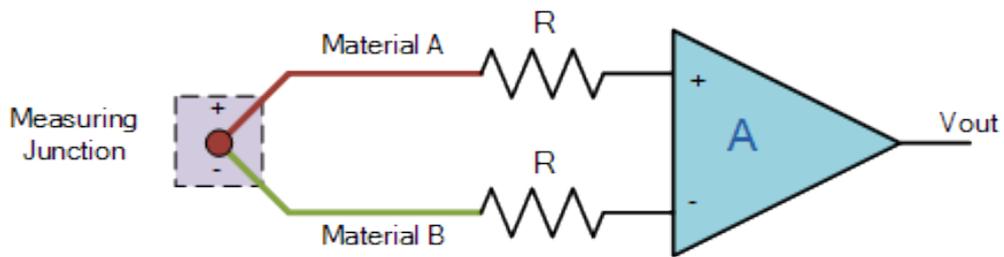
Tabel 5.1 Jenis Thermocouple

Kode	Bahan Konduktor	Sensitivitas
E	Nickel Chromium/Constantan	$-200^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$
J	Iron / Constantan	$0^{\circ}\text{C} - 750^{\circ}\text{C}$
K	Nickel Chromium/Nickel aluminium	$-200^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$
N	Nicrosil / Nisil	$0^{\circ}\text{C} - 1250^{\circ}\text{C}$
T	Copper / Constantan	$-200^{\circ}\text{C} - 350^{\circ}\text{C}$
U	Copper / Copper Nickel	$0^{\circ}\text{C} - 1450^{\circ}\text{C}$

Thermocouple beroperasi berdasarkan Seebeck effect, suatu fenomena dimana tegangan akan proporsional dengan temperature dapat diperoleh dari circuit yang terdiri dari dua metal wire yang berbeda. Misalnya, thermocouple dapat terbuat dari iron dan constantan dapat menghasilkan tegangan sebesar $35 \mu\text{V}/^{\circ}\text{F}$.

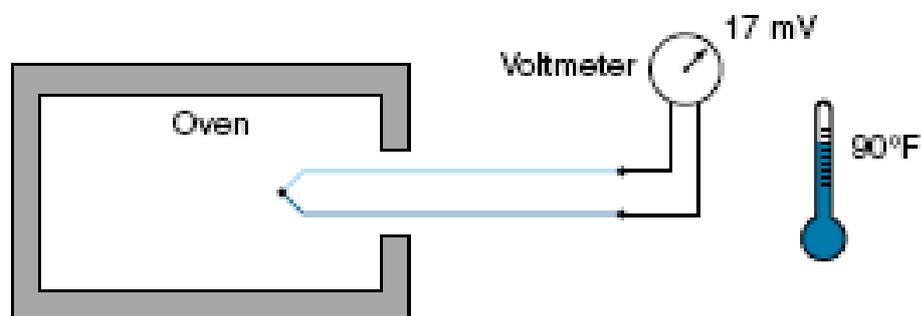
Sirkuit Penguatan Thermocouple

Karena tegangan output yang dibangkitkan oleh thermocouple sangat lemah, maka diperlukan sirkuit untuk menguatkan sinyal tegangannya dalam bentuk **Operational Amplifier** seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.12.



Gambar 5.5 Amplifikasi Thermocouple

Gambar 5.6 memperlihatkan tipikal sistem pendeteksian suhu dengan menggunakan thermocouple pada suatu unit oven.



Gambar 5.6 Aplikasi Thermocouple

Lembar Kerja 3: Uraikan kembali prinsip operasi sensor suhu berbasis thermocouple. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor suhu berbasis thermocouple, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas.

4. Resistance Temperature Detector (RTD)

Jenis sensor suhu yang lain Resistance Temperature Detector atau disingkat RTD. RTD merupakan sensor suhu yang presisi yang terbuat dari metal dengan

puritas konduktif tinggi seperti platinum, tembaga (copper) atau nickel yang dililit membentuk suatu koil. Seperti namanya, TRD akan berubah nilai resistannya sebanding dengan perubahan suhu yang dirasakannya.

Resistive temperature detector (RTD) memiliki koefisien suhu positif (PTC) tetapi tidak seperti thermistor, output RTD sangat linear sehingga menghasilkan pengukuran suhu yang lebih akurat. RTD memiliki sensitivitas rendah, adanya perubahan suhu hanya menghasilkan perubahan output yang sangat kecil, misalnya $1\Omega/^{\circ}\text{C}$. Biasanya RTD terbuat dari bahan platinum (Platinum Resistance Thermometer atau PRT), di pasaran dikenal dengan nama Pt100, yang memiliki nilai resistansi (standard resistance) sebesar 100Ω pada 0°C .

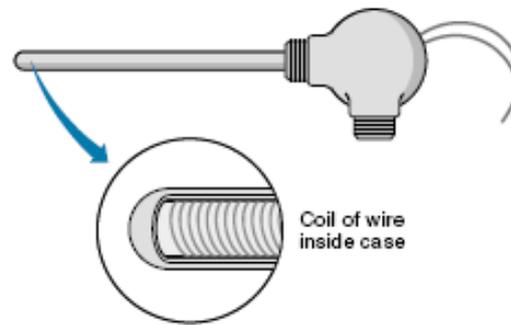


Gambar 5.7 RTD

RTD merupakan piranti resistif pasif, sehingga diperlukan energi dari luar untuk mengoperasikannya. Jika dialirkan arus listrik pada RTD, maka memungkinkan memberikan tegangan output yang akan meningkat secara linear sebanding dengan perubahan suhu. Biasanya RTD memiliki nilai resistansi sekitar 100Ω pada suhu 0°C , dan dapat meningkat hingga mencapai nilai resistansi 140Ω pada suhu 100°C dengan rentang operasi suhu antara -200 to $+600^{\circ}\text{C}$.

Karena RTD merupakan piranti resistif, kalian perlu mengalirkan arus ke RTD untuk dapat memonitor tegangan output yang dihasilkannya sesuai dengan perubahan suhu yang dirasakannya. Karena adanya variasi nilai resistansi mengakibatkan adanya variasi panas disipasi yang ditimbulkannya sesuai dengan hukum Ohm, yaitu sebesar I^2R . Hal ini dapat menyebabkan terjadinya kesalahan dalam pembacaan suhu. Untuk mengatasi masalah tersebut, biasanya RTD dihubungkan ke dalam rangkaian jembatan.

Resistance temperature detector (RTD) adalah temperature sensor berbasis fakta bahwa bahan metal naik resistance bila suhunya naik. Kawat penghantar, seperti platinum. Platinum wire mempunyai temperature coefficient of $0.0039 \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$.



Gambar 5.8 Kemasan RTD

5. Thermistor

Thermistor merupakan sensor suhu yang banyak pemakainya. Namanya thermistor diambil dari kombinasi kata THERM-ally sensitive res-ISTOR. Thermistor merupakan jenis resistor yang akan berubah resistansinya akibat adanya perubahan suhu yang dirasakannya.



Gambar 5.9 Thermistor

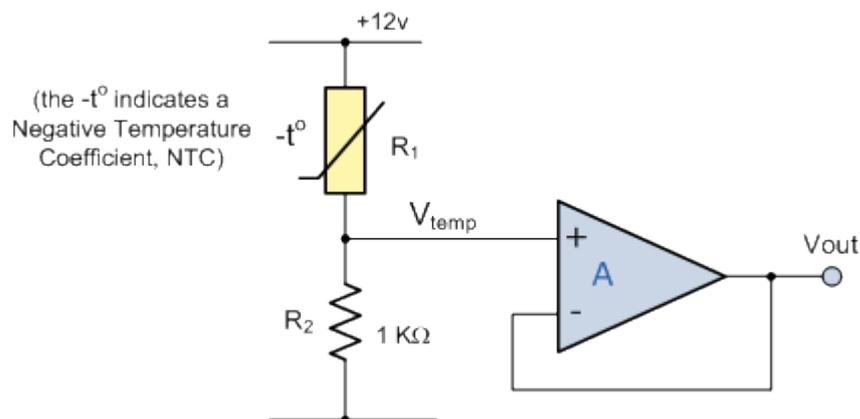
Thermistor biasanya terbuat dari bahan keramic seperti oksida nikel, mangan atau cobalt yang terbungkus gelas sehingga membuatnya menjadi gampang rusak atau pecah. Kelebihan utama thermistor adalah kecepatan respon terhadap perubahan

suhu yang dirasakannya, dan akurasi. Sebagian besar thermistor yang dipasarkan memiliki koefisien suhu negatif (*NTC*), di mana nilai resistannya akan turun jika suhu meningkat, sebagian kecil lainnya memiliki koefisien suhu positif, di mana nilai resistansinya akan naik jika suhunya meningkat.

Thermistor dikonstruksi dari bahan semikonduktor yang diolah dengan menggunakan teknologi yang disebut sebagai metal oxide technology seperti manganese, cobalt dan nickel. Bahan semiconductor tersebut biasanya dikemas secara hermetik (kedap udara) dalam bentuk piringan atau bentuk bola agar dapat memberikan respon cepat terhadap perubahan suhu yang dirasakannya.

Thermistor didisain untuk mendeteksi suhu rendah misalnya untuk suhu ruang (sekitar 25°C). Seperti halnya resistor, thermistor tersedia di pasaran dengan nilai resistan pada suhu ruang dalam orde puluhan mega-ohm tetapi yang lazim digunakan adalah nilai resistan dalam orde kilo-ohm.

Seperti RTD, thermistor merupakan piranti resistif pasif, sehingga diperlukan energi dari luar untuk mengoperasikannya. Jika dialirkan arus listrik pada thermistor, maka memungkinkan memberikan tegangan output yang akan meningkat secara linear sebanding dengan perubahan suhu. Biasanya thermistor dihubungkan seri dengan suatu resistor yang disebut sebagai biasing resistor untuk membentuk rangkaian pembagi tegangan seperti diperlihatkan dalam contoh berikut.



Gambar 5.10 Rangkaian Penguatan Thermistor

Contoh Kasus

Sebuah thermistor memiliki resistansi sebesar $10\text{k}\Omega$ pada suhu 25°C dan memiliki resistansi sebesar 100Ω pada 100°C . Hitung tegangan drop pada thermistor dan tegangan output yang dapat dihasilkannya (V_{out}) pada kedua kondisi suhu jika dihubungkan seri dengan sebuah resistor $R_2 = 1\text{k}\Omega$ dan tegangan sumber sebesar 12VDC .

Berdasarkan rangkaian penguatan seperti Gambar 4.17, didapat:

Pada suhu 25°C

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V = \frac{1000}{10000 + 1000} \times 12\text{VDC} = 1,09\text{VDC}$$

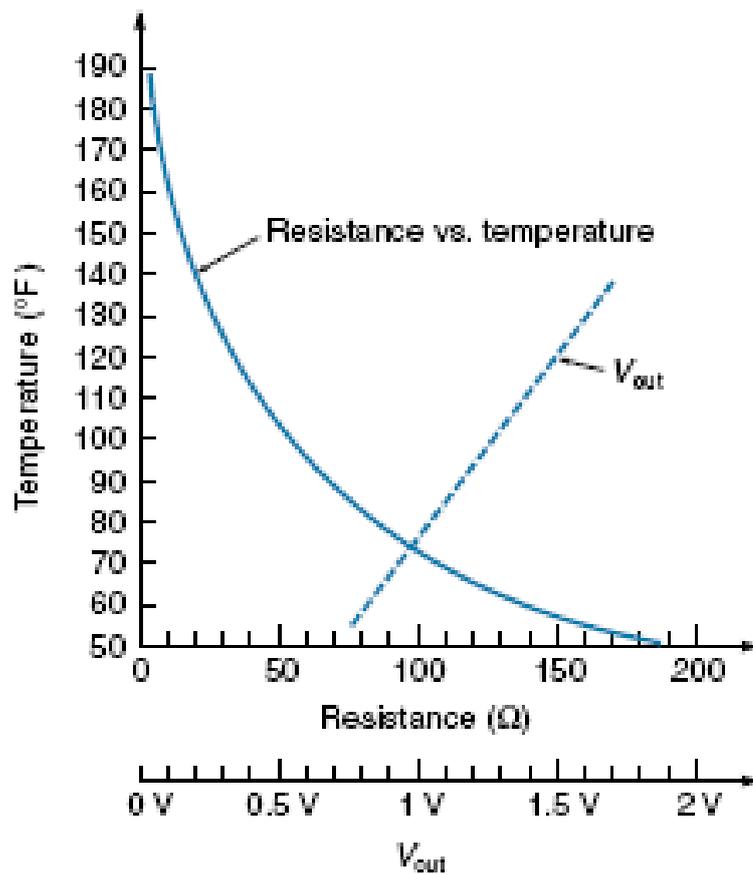
Pada suhu 100°C

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V = \frac{1000}{100 + 1000} \times 12\text{VDC} = 10,9\text{VDC}$$

Dengan mengganti resistor tetap R_2 (dalam contoh sebesar $1\text{k}\Omega$) menjadi sebuah potensiometer maka tegangan output pada saat preset dapat ditentukan sesuai keinginan, misalnya sebesar 5VDC tegangan output pada suhu 60°C dan dengan mengatur ulang potensiometer kalian dapat memperoleh rentang suhu yang lebih luas lagi.

Lembar Kerja 4: Rancanglah sebuah eksperimen untuk menginvestigasi performansi thermistor, seperti gambar 5.10. Ingat paparan yang kalian sampaikan pada saat presentasi hasil kerja kalian harus meliputi apa? Bagaimana? Dan Mengapa? Terkait dengan permasalahan thermistor, instalasi dan aplikasinya.

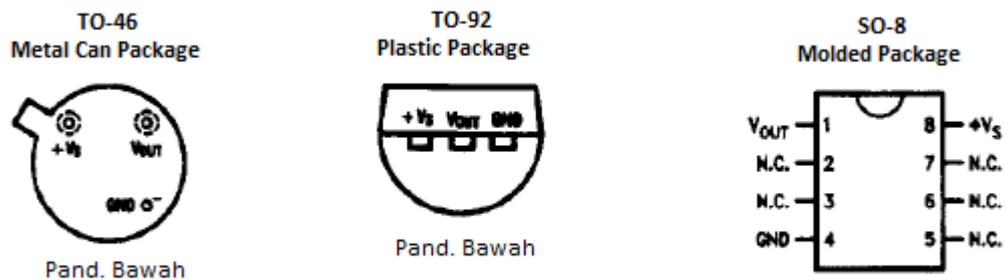
Thermistor adalah two-terminal device yang berubah nilai resistance terhadap perubahan suhu. Thermistor terbuat dari bahan semikonduktor. Thermistor bersifat nonlinear; jadi, tidak dapat digunakan untuk pengukuran suhu yang akurat. Kebanyakan thermistors memiliki negative temperature coefficient.



Gambar 5.11 Kurva Thermistor

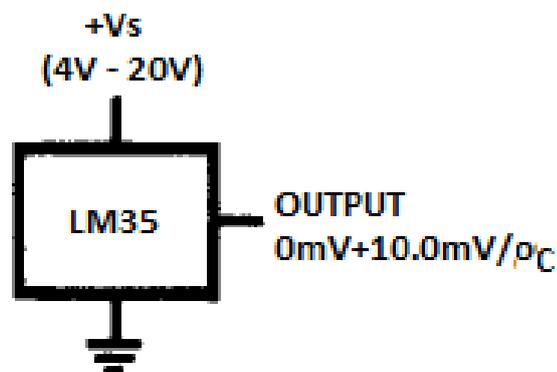
6. Sensor Suhu Berbentuk IC

Sensor suhu yang dikemas di dalam sebuah integrated circuit (IC) telah tersedia dalam berbagai konfigurasi. Salah satu yang sangat populer adalah IC seri LM34 dan LM35. LM34 menghasilkan tegangan output yang proporsional terhadap suhu Fahrenheit, dan LM35 menghasilkan tegangan output yang proporsional terhadap suhu Celcius.



Gambar 5.12 Spesifikasi Keluarga LM34 dan LM35

Tegangan output IC LM35 adalah: $V_{out}=10mV/^{\circ}C$. Persamaan tersebut mengandung makna bahwa untuk setiap kenaikan suhu sebesar satu derajat celcius, maka tegangan output naik sebesar 10mV. Jika LM35 hanya digunakan untuk mengukur suhu dalam rentang positif saja, maka tipikal aplikasi seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.13



Gambar 5.13 Tipikal Aplikasi LM35 Untuk Mengukur Suhu Positif

Jika LM35 hanya digunakan untuk mengukur suhu dalam rentang positif dan rentang negatif, maka tipikal aplikasi seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.14

F. Kegiatan Belajar 6

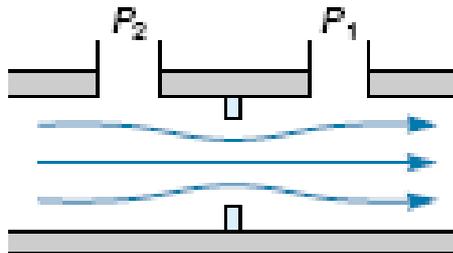
Menentukan Piranti-piranti Pendeteksi Level dan Aliran Fluida

Untuk mencapai operasi yang optimal, ada beberapa industri yang memerlukan pendeteksian besaran fisis aliran zat dan level liquid. Misalnya pabrik gula, pabrik semen, pabrik makanan dan minuman. Kalian perlu mendalami masalah tersebut. Karena akan kalian jumpai kelak ketika kalian sudah bekerja. Gunakan kemampuan kalian dan pompa semangat kalian untuk menguasai kompetensi ini.

1. Sensor Aliran Fluida

Sensor Aliran fluida atau Flow sensor mengukur kuantitas suatu fluid material yang melewati suatu saluran pada waktu tertentu.

Biasanya, bahan-bahan yang diukur berupa gas atau liquid yang mengalir di dalam suatu pipa. Laju lairan bahan padat atau solid material, seperti gravel traveling yang lewat suatu conveyer belt, tidak termasuk dalam cara ini. Flow transducer dibuat dalam berbagai bentuk, semuanya menerapkan prinsip sama yaitu differential pressure.



Gambar 6.1 Tipikal Orifice

1.1. Orifice Plate

Pressure-based flow sensor adalah flow sensor berbasis fakta bahwa tekanan yang dibawa oleh fluida kerja proporsional terhadap alirannya (*flow*). Bila tekanan sudah dapat dideteksi dengan sensor tekanan (*pressure sensor*); maka laju aliran dapat ditentukan. Gambar 6.2 memperlihatkan *flow sensor* yang disebut *orifice plate*,

yaitu membuat saluran menjadi lebih kecil dari saluran normalnya untuk mendapatkan rugi tekanan yang lebih besar.

Sensor ini memerlukan dua buah *pressure port*, satu terletak di depan atau *upstream* dan satu lagi di belakang atau *downstream*. Laju aliran proporsional terhadap beda tekanan antara dua *port pressure* dan perhitungan lajunya sebagai berikut:

$$Q = CA\sqrt{\frac{2g}{d}(P_2 - P_1)}$$

Di mana:

Q = flow (in³)

C = coefficient of discharge (0.63)

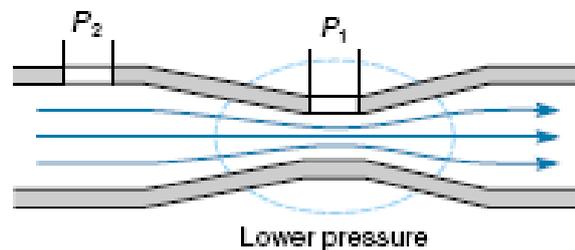
A = area of the orifice hole (in²)

d = weight density of the fluid (lb/in³)

$P_2 - P_1$ = pressure difference (psi)

g = gravity (384 in./s²)

jenis lain dari pressure-based flow sensor adalah menggunakan sistem venturi untuk mendapatkan pressure difference, seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.2

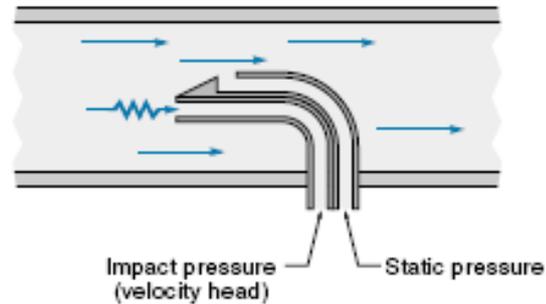


Gambar 6.2 Ttipikal Ventury

1.2. Ventury

Venturi memberikan hambatan secara gradual di dalam pipa yang menyebabkan kecepatan aliran fluida naik ketika lewat di daerah ventuty. Area yang memiliki kecepatan (velocity) lebih tinggi pasti memiliki tekanan (pressure) yang

lebih rendah. Laju aliran proporsional terhadap beda tekanan antara P_2 dan P_1 . sensor tipe *venturi flow sensor* cenderung menjaga laju aliran menjadi lebih lembut (*smooth*), tetapi kedua *orifice plate* dan venturi menyebabkan *pressure drop* dalam pipa.



Gambar 6.3 Tipikal pilotTube

1.3. Pilot Tube

Pressure-based flow sensor memberikan minimum hambatan pada *pilot tube*. *Pitot tube* berupa pipa kaliler (Gambar 6.3). Dalam system ini ada dua pipa: yang pertama berfungsi sebagai *impact pressure (velocity head)*, yang kedua melaporkan *static pressure*. *Impact pressure* selalu lebih besar daripada *static pressure*, dan beda tekanan antara keduanya proportional terhadap kecepatan dan juga laju aliran.

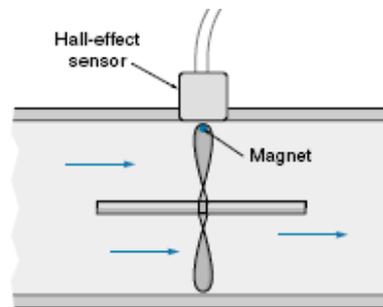
Lembar Kerja 1: Melalui lembar kerja ini kalian akan mempelajari tentang sistem, komponen dan operasi beberapa sensor yang berfungsi mendeteksi besaran fisis, aliran fluida dan level likuid. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan percobaan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor proximity, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas untuk mendapat tanggapan dari kelompok lain dan juga dari guru.

1.4. Turbine Flow Sensor

Turbine, atau spin-type, flow sensor (disebut juga sebagai *flow meter*), menggunakan kincir atau propeller diletakkan pada aliran fluida. Kecepatan

rorasional yang dihasilkan oleh kincir proporsional terhadap kecepatan laju aliran. Gambar 6.4 memperlihatkan tipikal *turbine flow sensor*.

Magnet kecil diletakkan pada salah satu sudu kincir atau *blade*, dan *Hall-effect sensor* dipasang pada kemasannya. *Hall sensor* memberikan pulsa setiap putaran dari sudu-susu (*blade*).



Gambar 6.4 Tipikal Turbin Sensor

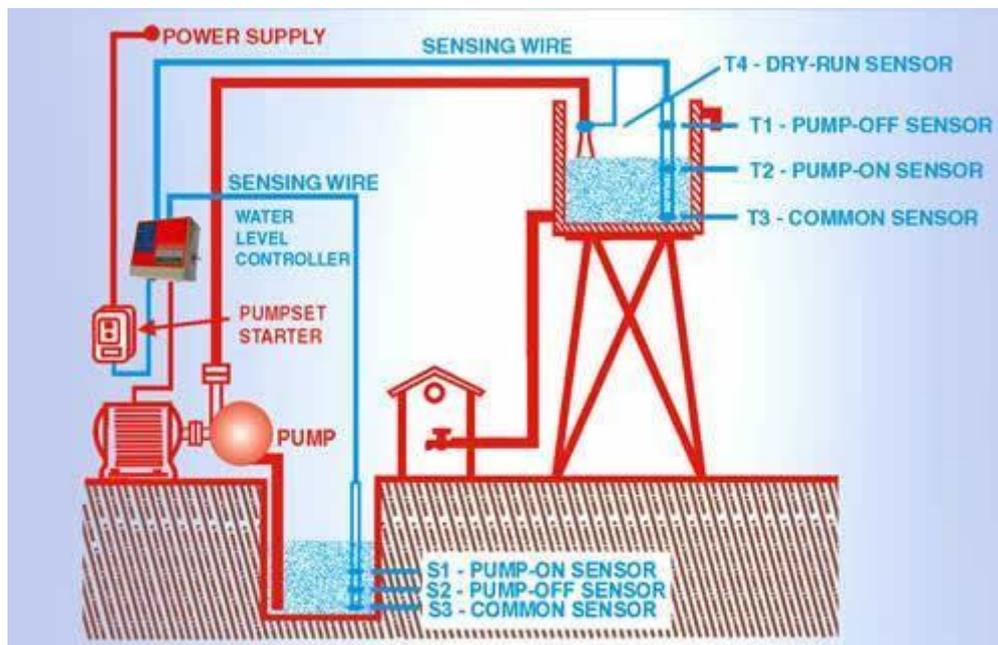
2. Level Air (Water Level)

Untuk mencapai operasi yang optimal dalam suatu proses produksi, ada beberapa industri yang memerlukan pendeteksian besaran fisis aliran fluida dan *water level* atau likuid level. Misalnya pabrik gula, pabrik semen, pabrik makanan dan minuman. Kalian perlu mendalami masalah tersebut. Karena akan kalian jumpai kelak ketika kalian sudah bekerja. Gunakan kemampuan kalian dan pompa semangat kalian untuk menguasai kompetensi ini

Untuk mengontrol *water level* diperlukan sistem *water level controller*. Sistem pengontrolan *water level* merupakan piranti elektronik. Piranti kontrol tersebut jika terhubung pada suatu pengasutan motor pompa air akan mampu mengontrol operasi motor pompa air berbasis level air pada suatu sumber air atau tangki air. Sistem pengontrolan level air yang lebih maju diimplementasikan dengan piranti elektronik berbasis mikroprosesor. Sistem tersebut jika dihubungkan pada peralatan pompa air, akan memberikan berbagai fungsi kontrol sebagai berikut:

- Menjalankan (ON) perangkat pompa air ketika level air jatuh di bawah “pre-set level” (misalkan T2 level) di dalam Overhead Tank (Gambar 6.5).

- Mematikan kerja (OFF) perangkat pompa air ketika level air di dalam Overhead Tank telah mencapai penuh (misalnya. T1 level).
- Mematikan kerja pompa air (OFF) ketika persediaan air tidak mencukupi di Sump/Well/Borewell (misalkan S2 level).
- Menjalankan pompa air (ON) ketika tersedia cukup air di dalam Sump/ Well / Borewell (misalkan S1 level).
- Mematikan pompa air (OFF) ketika terjadi kasus Dry run (yakni, ketika air tidak terpompa dengan maksimal ke dalam Overhead Tank karena suatu alasan tertentu.)

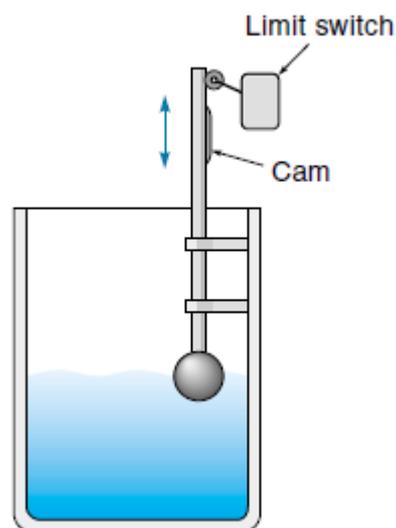


Gambar 6.5 Tipikal Sistem Pengontrolan Level Air

1. Level Likuid Diskrit

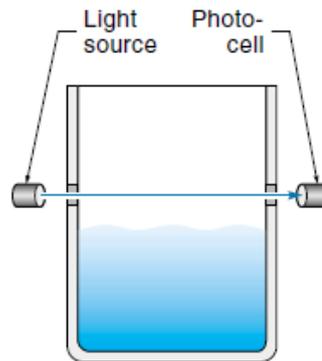
Sensor untuk mendeteksi level likuid dalam suatu kontainer dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu: (1) diskrit, dan (2) kontinyu. Sensor level diskrit hanya dapat mendeteksi apakah likuid telah mencapai suatu level tertentu. Sensor level kontinyu memberikan sinyal listrik yang proporsional terhadap level likuid.

Sensor level diskrit dapat menentukan kapan likuid telah mencapai level tertentu. Contoh aplikasi dari sensor level diskrit ini adalah pada mesin cuci. Sensor ini memberitahu ke controller kapan menyetop pengisian air pencucian. Tipe sederhana dari sensor level diskrit adalah float switch dan limit switch. Ada berbagai konfigurasi yang dapat diterapkan pada float switch seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.6. Pada kasus ini, float terpasang pada batang vertikal. Pada level likuid tertentu, cam yang terpasang pada batang vertikal, akan mengaktifkan limit switch. Aktivasi level dapat diatur dengan merelokasi posisi cam atau switch.



Gambar 6.6 Aplikasi Sensor Level Likuid dengan Limit Switch

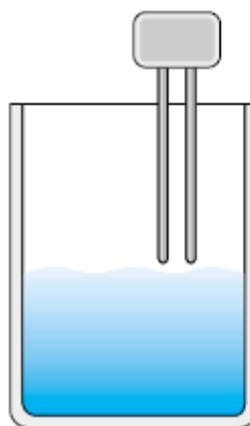
Jenis lain detektor level adalah sensor level diskrit berbasis photocell. Gambar 6.7 memperlihatkan konfigurasi detektor level berbasis photocell.



Gambar 6.7 Aplikasi Sensor Level Likuid dengan Photocell

Jika level likuid merendam atau menghalangi lintasan cahaya, sinyal photodetector berubah, sehingga dapat mengindikasikan kehadiran level likuid pada posisi tertentu.

Beberapa likuid, seperti air minum, asam lemah, dan air kopi memiliki sifat agak konduktif, yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pendeteksi level. Seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.8 Suatu elektroda atau electric probe dicelupkan ke dalam suatu likuid yang akan dideteksi levelnya. Jika level likuid mencapai elektroda (probe), maka nilai resistansi di dalam rangkaian turun secara mendadak. Aplikasi sensor ini adalah pada dunia otomotif adalah sebagai low-coolant sensor.

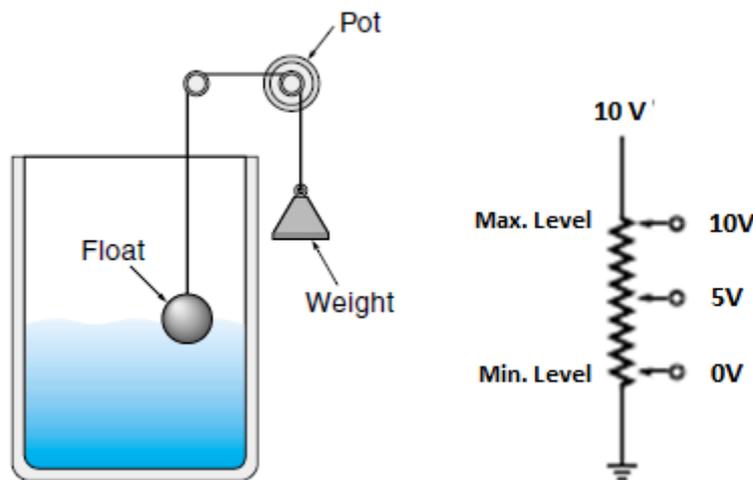


Gambar 6.8 Aplikasi Sensor Level Likuid dengan Resistance Probe

Lembar Kerja 1: Melalui lembar kerja ini kalian akan mempelajari tentang sistem, komponen dan operasi sensor level air. Untuk dapat memperjelas permasalahannya kalian perlu melakukan pengamatan melalui percobaan yang harus kalian lakukan di laboratorium dan mencari informasi tambahan dari sumber informasi lain agar kalian dapat melakukan pendalaman materi. Paparan yang harus kalian sampaikan harus meliputi apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sensor pendeteksi kecepatan sudut, instalasi dan aplikasinya. Jika telah selesai presentasikan di kelas.

2. *Continuous Level Detector*

Continuous Level Detector atau detektor level likuid kontinu memberikan sinyal yang proporsional terhadap level likuid. Ada beberapa konfigurasi yang dapat digunakan untuk mencapai maksud tersebut. Salah satu yang paling banyak pemakainya khususnya pada tanki bahan bakar mobil, adalah pelampung (float) yang terkoneksi ke sensor posisi (potensiometer) seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.9.



Gambar 6.9 Aplikasi Detector Level Kontinu dengan Potensiometer

Cara lain yang dapat diterapkan untuk mendapatkan sistem detektor level secara kontinyu adalah melalui pengukuran tekanan di dasar kontainer atau tanki (disebut

head) seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.10 yang nilainya proporsional dengan level likuid, yang dapat diekspresikan secara matematika sebagai berikut:

$$\text{Tekanan (pressure)} = P = dH$$

Di mana

P = gauge pressure di bagian bawah (head)

D = berat jenis likuid (berat per satuan volume)

H = ketinggian (level) likuid di dalam tangki

Contoh Aplikasi:

Tentukan berapa besar tekanan yang dirasakan di dasar tangki air (head) yang memiliki ketinggian (level) 10 feet.

Penyelesaian:

Untuk menyelesaikan masalah ini kalian harus mengetahui berat jenis air. Berat jenis air berkisar 64 lb/ft^3 .

Nilai tekanan pada dasar tangki air adalah:

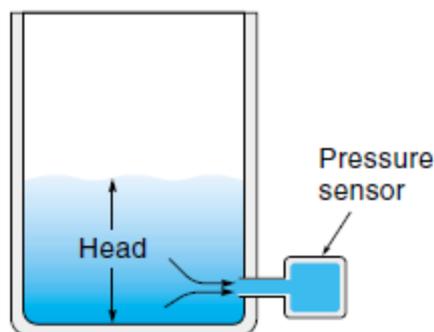
$$P = dH = 64 \text{ lb/ft}^3 \times 10 \text{ ft} = 640 \text{ lb/ft}^2$$

Tekanan harus dinyatakan dalam psi, maka hasil konversinya

$$640 \text{ lb/ft}^2 \times \frac{1 \text{ ft}^2}{144 \text{ in}^2} = 4,44 \text{ lb/in}^2$$

Tekanan sebesar $4,44 \text{ lb/in}^2$ adalah tekanan gauge, artinya tekanan absolut pada dasar tangki pasti lebih besar dari $4,44 \text{ psi}$. Tekanan absolut pada dasar tangki adalah

$$4,44 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} = 19,1 \text{ psi}.$$



Gambar 6.10 Aplikasi Detector Level Kontinyu dengan Pressure Sensor

Contoh aplikasi 2:

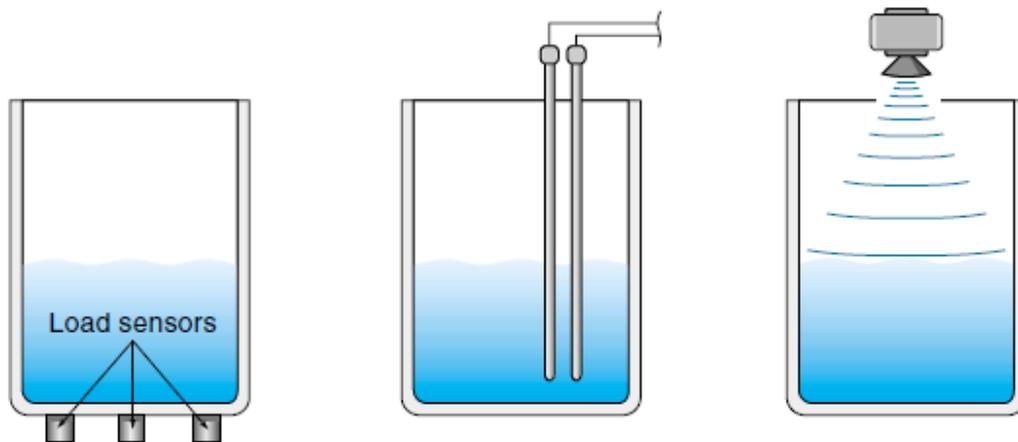
Tentukan berapa besar tekanan (head) yang dirasakan pada dasar tanki jika ketinggian air mencapai 3 meter. Jika diketahui berat jenis air = 9800 N/m^3 .

Penyelesaian:

$$P = \rho H = \frac{9800 \text{ N}}{\text{m}^3} \times 3 \text{ m} = 29,400 \text{ N/m}^2 = 29,400 \text{ Pa}$$

Jadi tekanan gauge yang dirasakan pada dasar tanki adalah 29.400 Pa.

Disamping dua cara yang sudah dibahas di atas, masih ada tiga cara lain yang juga lazim diterapkan untuk mengukur nilai tekanan pada dasar tanki air secara kontinu adalah menggunakan load sensor, menggunakan pengukuran elektrode R dan C, dan menggunakan ultrasonic, seperti diperlihatkan dalam Gambar 6.11.



Gambar 6.11 Detektor Level secara Kontinyu Cara Lain

Memonitor masa likuid dengan load cell merupakan cara lain yang lazim digunakan untuk menentukan level likuid. Level dapat dihitung berdasarkan diameter dan tinggi likuid serta berat jenis likuid. Berat total tanki air merupakan jumlah berat yang dilaporkan oleh tiga load cell. Beberapa piranti dapat mendeteksi level likuid secara langsung, dengan menggunakan dua elektrode yang terpasang di dalam tanki. Output yang dihasilkan oleh piranti tersebut (dapat berupa resistan atau kapasitan) harus

dikuatkan dan diproses. Cara lain untuk mendeteksi level likuid secara langsung adalah menggunakan ultrasonik. Di pasaran sudah tersedia modul ultrasonik untuk mendeteksi level likuid.

DAFTAR PUSTAKA

Bishop, Robert H., The Mechatronics Handbook, CRC PRESS, USA, 2002

Bolton, W., Mechatronics, Electronic control systems in mechanical Engineering,
Longman Scientific & Technical

Carl Hamacher, cs., Organisasi Komputer, Edisi 5, Penerbit Andi,
Yogyakarta, 2002

Hugh Jack, Automating Manufacturing System with PLC, version 5.0, 2007

Petruzella, Frank D., Industrial Electronics, McGRAW-HILL International Editions,
1996

Roger W. Prefitt & Stephen W. Fardo, Instrumentation: Transducers,
Experimentation, & Application, Howard W. Sams 7 Co., Inc, USA