

BAB II

KERANGKA TEORITIK DAN KERANGKA BERFIKIR

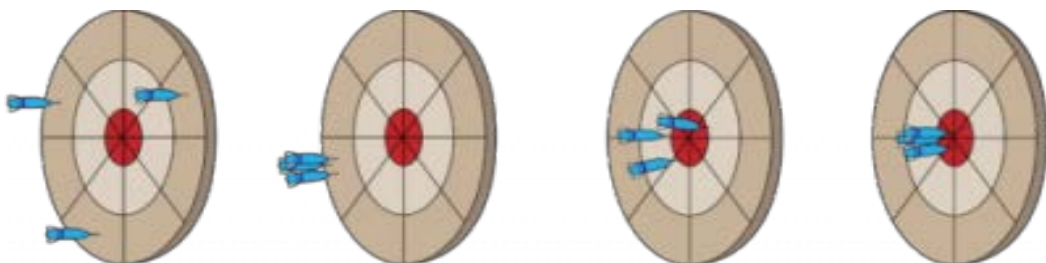
2.1. Kerangka Teoritik

2.1.1. Teori Akurasi

Dalam suatu pengukuran kesalahan yang terjadi sering kali muncul baik dari faktor internal maupun eksternal. Untuk memperkecil kesalahan-kesalahan dalam pengukuran tersebut disarankan untuk melakukan pengukuran berulang kali. Cara lainnya yaitu bisa menggunakan alat ukur pengukuran yang berbeda untuk melakukan pengukuran yang sama. Alat ukur yang presisi belum tentu akurat. Karena parameter yang diukur bisa jadi berbeda jauh dengan hasil pengukuran yang diharapkan. Atau akurasi yang tinggi bisa saja di peroleh hanya kebetulan secara acak saja dan bukan merupakan indikator yang baik dari suatu pengukuran. Oleh karena itu diperlukan akurasi dan presisi yang benar.

2.1.1.1. Akurasi dan Presisi

Akurasi dan akurasi memiliki hubungan yang sangat erat dalam pengukuran. Karena perlu adanya penafsiran yang jelas dari kedua istilah ini. Untuk mengetahui perbedaan dari istilah tersebut dapat dilihat pada ilustrasi anak panah di bawah ini.



Gambar 2.1. Ilustrasi Perbedaan Akurasi dan Presisi²

² Budiyanto, *Perbedaan Akurasi dan Presisi dalam Pengukuran*, <http://www.sridianti.com/wp-content/uploads/2014/05/papan-dart-400x151.png>, diakses pada 21 Januari 2016 pukul 09.30 WIB

Pada gambar di atas terlihat hasil dari suatu sasaran tembak. Untuk gambar (a) terlihat posisi sasaran tembak berada jauh dari titik merah dan jarak antara satu tembakan dengan yang lainnya berjauhan. Hal ini menunjukkan presisi dan akurasi yang buruk.

Pada gambar (b) posisi sasaran tembak berada dekat satu sama lain, tetapi jauh dari titik merah. Pengelompokan ini menunjukkan pengukuran yang tepat, tetapi tidak akurat. Dalam situasi laboratorium, presisi yang tinggi dengan akurasi yang rendah sering dihasilkan dari kesalahan sistematis. Entah pengukur membuat kesalahan yang sama berulang-ulang atau alat ukur entah bagaimana mengalami cacat. Alat ukur yang buruk perlu dilakukan kalibrasi agar dapat memberikan pembacaan hasil ukur yang sama setiap waktu.

Sementara untuk gambar (c) sasaran tembak tidak berkumpul satu sama lain, tetapi umumnya berpusat di sekitar titik merah. Hal ini menunjukkan presisi yang buruk, akan tetapi memiliki akurasi tinggi. Situasi ini tidak diinginkan dalam situasi pengukuran karena akurasi yang tinggi mungkin hanya kebetulan acak dan bukan merupakan indikator sejati keterampilan pengukuran yang baik.

Gambar (d) terlihat bahwa sasaran tembak berkumpul bersama dan menuju titik merah. Hal ini menunjukkan presisi tinggi dan juga akurasi yang tinggi. Dalam pengukuran selalu berusaha untuk memaksimalkan keduanya yaitu akurasi dan presisi.

Dari ilustrasi di atas dapat disimpulkan bahwa akurasi adalah tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya, sedangkan presisi menyatakan tingkat kesamaan di dalam sekelompok pengukuran

atau sejumlah instrumen.³ Jadi alat ukur yang mempunyai presisi tinggi belum tentu alat ukur tersebut mempunyai akurasi tinggi. Setiap pengukuran memiliki ketidakpastian yang dapat dihasilkan dari berbagai faktor.

2.1.1.2. Sumber Ketidakpastian Pengukuran

Seperti yang diuraikan di atas, hasil pengukuran selalu mengandung ketidakpastian. Kelemahan dalam pengukuran mungkin terlihat atau tidak terlihat. Alat yang digunakan untuk pengukuran juga buatan manusia sehingga tidak sempurna. Selain kedua faktor ini, ada banyak faktor lain yang berpengaruh pada hasil pengukuran yang tidak dapat diketahui semuanya. Karena pengukuran nyata tidak pernah dibuat di bawah kondisi sempurna, kesalahan dan ketidakpastian dapat berasal dari:

1. Ketidakpastian Sistematis

Ketidakpastian sistematis bersumber dari alat ukur yang digunakan atau kondisi yang menyertai saat pengukuran. Bila sumber ketidakpastian adalah alat ukur, maka setiap alat ukur tersebut digunakan akan memproduksi ketidakpastian yang sama. Yang termasuk ketidakpastian sistematis antara lain:

- a. Ketidakpastian Alat*, Ketidakpastian ini muncul akibat kalibrasi skala penunjukan angka pada alat tidak tepat, sehingga pembacaan skala menjadi tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Untuk mengatasi

³ William D. Cooper, *Instrumenasi Elektronik dan Teknik Pengukuran*, Jakarta: Erlangga, 1999, hlm. 2

ketidakpastian tersebut, alat harus dikalibrasi setiap akan digunakan.

Masalah usia alat ukur juga mempengaruhi terjadinya kesalahan.

- b. Kesalahan Nol*, Ketidaktepatan penunjukan alat pada skala nol juga menyebabkan ketidakpastian sistematis. Hal ini sering terjadi, tetapi juga sering terabaikan. Sebagian besar alat umumnya sudah dilengkapi dengan pengatur nol. Bila sudah diatur maksimal tetap tidak tepat pada skala nol, maka untuk mengatasinya harus diperhitungkan selisih kesalahan tersebut setiap kali melakukan pembacaan skala.
- c. Waktu Respon Yang Tidak Tepat*, Ketidakpastian pengukuran ini muncul akibat dari waktu pengukuran (pengambilan data) tidak bersamaan dengan saat munculnya data yang seharusnya diukur, sehingga data yang diperoleh bukan data yang sebenarnya.
- d. Kondisi Lingkungan*, Ketidakpastian pengukuran ini muncul karena kondisi alat ukur dipengaruhi oleh kejadian yang hendak diukur.

2. Ketidakpastian Acak (*Random*)

Ketidakpastian ini umumnya bersumber dari gejala yang tidak mungkin dikendalikan secara pasti atau tidak dapat diatasi secara tuntas. Gejala tersebut umumnya merupakan perubahan yang sangat cepat dan acak hingga pengaturan atau pengontrolannya di luar kemampuan kita. Misalnya: Fluktuasi pada besaran listrik seperti tegangan listrik selalu mengalami fluktuasi (perubahan terus menerus secara cepat dan acak). Akibatnya bila diukur, nilainya juga berfluktuasi. Demikian pula saat kita mengukur kuat arus listrik.

3. Ketidakpastian Pengamatan

Beberapa pengukuran tergantung pada keterampilan dan penilaian dari operator. Satu orang mungkin lebih baik daripada yang lain di tempat kerja halus menyiapkan pengukuran, atau di membaca detail halus oleh mata. Ketidakpastian pengamatan merupakan ketidakpastian pengukuran yang bersumber dari kekurangan terampil manusia saat melakukan kegiatan pengukuran. Misalnya metode pembacaan skala tidak tegak lurus (paralaks), salah dalam membaca skala, dan pengaturan atau pengesetan alat ukur yang kurang tepat.

2.1.1.3. Evaluasi Ketidakpastian Pengukuran

Untuk menghitung ketidakpastian pengukuran, terlebih dahulu harus mengidentifikasi sumber-sumber ketidakpastian dalam pengukuran. Maka harus memperkirakan ukuran ketidakpastian dari masing-masing sumber. Akhirnya ketidakpastian yang ada digabungkan untuk memberikan angka secara keseluruhan.

Terdapat aturan yang jelas untuk menilai kontribusi dari masing-masing ketidakpastian dan menggabungkannya. Berdasarkan teknik evaluasinya, komponen ketidakpastian pengukuran dapat diklasifikasikan menjadi:

- a. Evaluasi Ketidakpastian Tipe-A, komponen ketidakpastian ini dievaluasi menggunakan metode analisis statistik dari sekumpulan data pengukuran, yang antara lain meliputi: Simpangan baku rata-rata eksperimental, standar deviasi
- b. Evaluasi Ketidakpastian Tipe-B, komponen ketidakpastian ini dievaluasi dengan metode selain analisis statistik dari sekumpulan data pengukuran,

biasanya berdasarkan penetapan ilmiah menggunakan informasi yang relevan, antara lain meliputi: informasi dari pengukuran masa lalu, dari sertifikat kalibrasi, spesifikasi pabrikan, Pengalaman dan pengetahuan, Spesifikasi pabrik, Ketidakpastian yang ditetapkan berdasarkan databook.

Setiap laboratorium pengukuran harus mencoba mengidentifikasi semua komponen ketidakpastian baik tipe A maupun tipe B dan membuat suatu estimasi yang wajar serta harus memastikan bentuk pelaporan hasil pengujian, tidak memberikan kesan yang salah pada ketidakpastian. Estimasi yang wajar harus didasarkan pada pengetahuan dari metode dan ruang lingkup pengujian serta harus menggunakan pengetahuan dan pengalaman sebelumnya serta data validasi. Oleh sebab itu, laboratorium pengukuran harus mempunyai dan menerapkan prosedur untuk memperkirakan ketidakpastian pengujian.⁴

Evaluasi ketidakpastian perlu adanya kejelasan agar tidak terjadi kesalahan persepsi dalam aplikasinya. Berikut ini adalah penjelasan mengenai evaluasi ketidakpastian pengukuran yang ada di bawah ini:⁵

1. Evaluasi Ketidakpastian Tipe-A

Dalam sebagian besar kasus, taksiran terbaik yang tersedia dari harapan atau nilai harapan terhadap suatu besaran yang bervariasi secara acak, yang diperoleh dari n pengamatan berulang yang saling bebas dalam kondisi pengukuran yang sama adalah nilai rata-rata dari hasil n pengamatan:

⁴ Anwar Hadi. *Klasifikasi Komponen Ketidakpastian Pengujian*. (<http://www.infolabling.com/2014/03/klasifikasi-komponen-ketidakpastian.html#.Vpxg3eh97Dd>), diakses pada 18 Januari 2016 pukul 11.20 WIB

⁵ Tim KAN, *Pedoman Evaluasi dan Ketidakpastian Pengukuran: Juni 2003*, Jakarta: Komite Akreditasi Nasional, 2003, hlm. 11

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Simpangan baku adalah suatu taksiran sebaran populasi dimana n nilai tersebut diambil, yaitu:

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Setelah melakukan satu kali n pengamatan berulang, kemudian dilakukan pengamatan kedua dari n pengamatan berulang maka nilai rata-rata dapat dihitung lagi. Kemungkinan akan terjadi sedikit perbedaan antara rata-rata dari n pengamatan kedua dari rata-rata pertama. Taksiran sebaran dari rata-rata populasi dapat dihitung dari simpangan baku rata-rata eksperimental (ESDM):

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Ketidakpastian baku tipe A, $u(x_i)$ dari suatu besaran yang ditentukan dari n pengamatan berulang yang saling bebas adalah nilai ESDM:

$$u(x_i) = s(\bar{x}) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

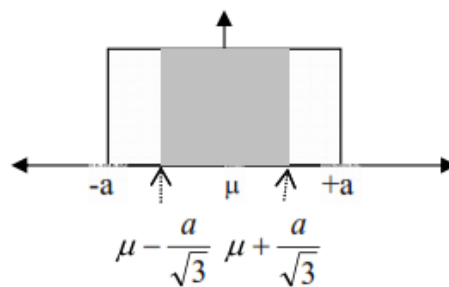
2. Evaluasi Ketidakpastian Tipe-B

Contoh paling sederhana dari evaluasi tipe B adalah penggunaan ketidakpastian yang dilaporkan dalam sertifikat standar. Untuk memperoleh ketidakpastian baku, ketidakpastian bentangan dibagi dengan faktor cakupan yang diberikan dalam sertifikat tersebut. Tanpa adanya nilai

faktor cakupan, maka faktor cakupan sama dengan 2 dapat digunakan jika ketidakpastian bentangan mempunyai tingkat kepercayaan 95%⁶.

Dalam kasus lain, dimana ketidakpastian diberikan dalam batas tertentu $\pm a$, distribusi kemungkinan dapat diestimasi dari informasi yang tersedia, yang kemungkinan dapat berbentuk distribusi berikut:

- a. *Distribusi Kemungkinan Rectangular*, Hal ini digunakan bila batas dapat ditentukan namun nilai besaran ukur tampak berada di semua tempat dalam rentang tersebut. Ketidakpastian baku diperoleh dengan membagi semi-range 'a' dengan $\sqrt{3}$, yaitu $u = a/\sqrt{3}$

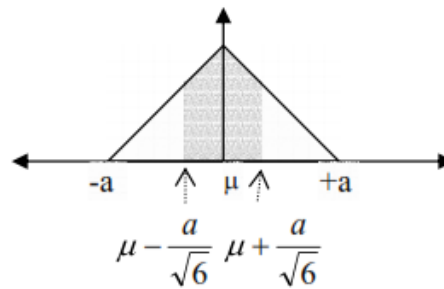


Gambar 2.2. Distribusi Kemungkinan *Rectangular*⁷

- b. *Distribusi Kemungkinan Triangular*, Hal ini digunakan bila terdapat bukti bahwa nilai yang paling mungkin adalah nilai yang dekat dengan nilai rata-rata, lebih dekat dengan batas rentang, kemungkinannya berkurang menuju "nol". Ketidakpastian baku diperoleh dengan membagi semi-range 'a' dengan $\sqrt{6}$, yaitu $u = a/\sqrt{6}$

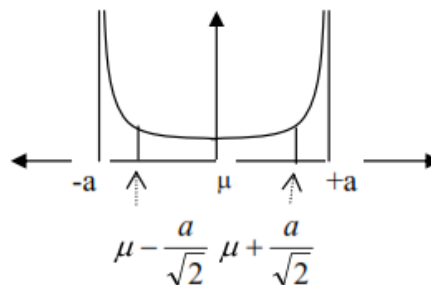
⁶ *Ibid.*, hlm. 14

⁷ *Ibid.*, hlm. 15



Gambar 2.3. Distribusi Kemungkinan *Triangular*⁸

- c. *Distribusi Kemungkinan Bentuk-U*, Distribusi ini terjadi di beberapa bidang metrologi. Sebagai contoh adalah distribusi kemungkinan untuk ketidakpastian yang timbul dari refleksi konektor frekuensi radio. Hal ini juga dapat diterapkan untuk variasi temperatur udara bila kendali temperatur menghasilkan sebaran yang selalu dekat dengan batas ketidakpastian. Ketidakpastian diperoleh dengan membagi semi-*range* 'a' dengan $\sqrt{2}$, yaitu $u = a/\sqrt{2}$



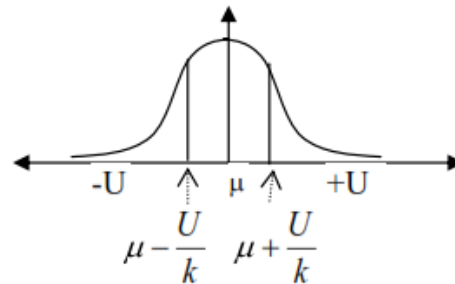
Gambar 2.4. Distribusi Kemungkinan Bentuk-U

- d. *Distribusi Gaussian atau Normal*, Distribusi ini dapat digunakan bila diasumsikan untuk ketidakpastian yang menyatakan tingkat kepercayaan tertentu, 95% atau 99%.⁹ Ketidakpastian baku diperoleh dengan membagi ketidakpastian tersebut dengan faktor cakupan yang tepat berdasarkan tabel distribusi-t, yaitu $u = U / k$; dimana U adalah

⁸ *Ibid.*, hlm. 16

⁹ *Loc.cit.*

ketidakpastian bentangan untuk tingkat kepercayaan tertentu dan k adalah faktor cakupan. Berikut ini adalah gambar grafik dari distribusi *Gaussian* atau normal.



Gambar 2.5. Distribusi *Gaussian* atau Normal¹⁰

Untuk evaluasi ketidakpastian baku tipe B, distribusi *rectangular* adalah model dasar yang cukup beralasan bila tidak terdapat informasi lainnya. Namun jika diketahui bahwa nilai besaran yang diukur dekat dengan pusat rentang ketidakpastian, maka distribusi triangular merupakan model yang lebih baik.

Ketidakpastian baku tipe B diperoleh dari suatu proses penaksiran distribusi kemungkinan. Secara sederhana diasumsikan bahwa distribusi kemungkinan dari nilai tersebut telah diketahui dengan pasti. Dalam sebagian besar kasus, dapat diasumsikan bahwa derajat kebebasan dari ketidakpastian baku tersebut adalah tak terhingga. Hal ini merupakan asumsi yang beralasan dalam praktek secara umum bahwa kemungkinan dari besaran yang diamati berada diluar batas ketidakpastian adalah sangat kecil.

¹⁰ *Ibid.*, hlm. 16

2.1.1.4. Standar Akurasi Termometer

Standar akurasi termometer atau biasa disebut *limit error* merupakan batas toleransi kesalahan pada pengukuran suhu yang dapat diterima saat pembacaan termometer. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat kepercayaan alat ukur dalam menghasilkan suatu nilai hasil pengukuran. Bila hasil pengukuran telah melewati batas toleransi dari yang ditentukan, ini akan mengakibatkan hasil pengukuran menjadi tidak akurat lagi. Oleh karena itu suatu alat perlu dilakukan kalibrasi ulang untuk meningkatkan tingkat kepercayaan terhadap hasil pengukuran.

Standar akurasi juga dapat dijadikan sebagai rujukan dalam mempertimbangkan kualitas dari suatu alat ukur. Bila diketahui indikasi alat ukur tersebut sudah tidak sesuai dengan batas *limit error* yang telah ditentukan, sebaiknya segera lakukan perbaikan atau penggantian agar hasil pengukuran kembali normal. Untuk mengetahui standar akurasi termometer, caranya dengan melihat spesifikasi alat yang ada pada *manual book*.

Untuk produk termometer pada *chiller*, yang digunakan adalah tipe termometer digital beserta dengan sensor termistor sebagai media pembaca suhunya. Tingkat akurasinya mengacu pada termometer jenis tabung yang ada pada pipa *cooler* dengan rentang *error limit* sebesar 1°F. Untuk mengetahui besar *error limit* yang ada pada termometer digital *chiller*, yaitu dengan melihat spesifikasi standar akurasi pada termometer tabung. Berikut ini adalah tabel standar akurasi termometer dari berbagai merk:

Tabel 2.1. Standar Akurasi Termometer Berbagai Merk

No.	Merk	<i>Error Limit</i>
1	Sika	1 °C
2	Atlantis	1 °C
3	Jinghao	1 °C
4	Skyihermo	1 °C

Pada tabel di atas merupakan standar akurasi (*limit error*) pada termometer tabung yang digunakan untuk mengukur standar keakuratan termometer digital pada *chiller*. Terdapat empat sampel termometer dari berbagai merk dengan standar *limit error* yang sama. Untuk melihat spesifikasi secara keseluruhan dapat dilihat pada halaman lampiran.

2.1.2. Kalibrasi

Ada banyak definisi dari kalibrasi karena terdapat banyak metode. Menurut standar ISO/IEC Guide 17025:2005 dan *Vocabulary of International Metrology (VIM)* kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu. Dengan kata lain kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur (*traceable*) ke standar nasional maupun internasional untuk satuan ukuran dan/atau internasional dan bahan-bahan acuan tersertifikasi.¹¹

¹¹ Anonim, *Definisi kalibrasi*, <https://id.wikipedia.org/wiki/Kalibrasi>, diakses pada 29 September 2015 pukul 10.30 WIB

Menurut ISA, dalam kamus otomatisasi, sistem, dan instrumentasi, kata kalibrasi didefinisikan sebagai tes selama nilai-nilai ukur diketahui oleh transduser dan sesuai dengan keluar pembacaan yang dicatat dalam kondisi tertentu. Definisi ini mencakup kemampuan untuk menyesuaikan instrumen nol dan mengatur rentang yang diinginkan. Secara teori definisi kalibrasi adalah perbandingan pengukuran peralatan terhadap instrumen standar akurasi yang lebih tinggi untuk mendeteksi, mengkorelasi, menyesuaikan, memperbaiki, dan mendokumentasikan keakuratan instrumen yang dibandingkan.

Biasanya, kalibrasi alat ukur diperiksa di beberapa titik sepanjang rentang kalibrasi alat ukur tersebut. Kisaran kalibrasi didefinisikan sebagai wilayah antara batas dimana kuantitas diukur, diterima atau dikirimkan, dan dinyatakan dengan mencantumkan batas bawah dan batas atas dari nilai-nilai jangkauan. Batas yang ditentukan oleh nilai-nilai nol dan rentang. Nilai nol adalah ujung bawah kisaran sedangkan rentang didefinisikan sebagai perbedaan aljabar antara kisaran nilai atas dan bawah. Kisaran kalibrasi akan berbeda dari berbagai instrumen, yang mengacu pada kemampuan instrumen.¹²

2.1.2.1. Prinsip Kalibrasi

Kalibrasi merupakan perbandingan output dari instrumen atau sensor yang diuji terhadap output dari instrumen akurasi diketahui ketika input yang sama (kuantitas yang diukur) diterapkan untuk kedua instrumen. Prosedur ini dilakukan untuk berbagai masukan yang mencakup seluruh rentang pengukuran dari instrumen atau sensor. Kalibrasi memastikan bahwa akurasi pengukuran semua

¹² Mike Cable, *Calibration: A Technician's Guide*, Amerika Serikat: ISA, 2007, hlm. 1

instrumen dan sensor yang digunakan dalam suatu sistem pengukuran yang dikenal selama rentang pengukuran, asalkan instrumen dikalibrasi dan sensor yang digunakan dalam kondisi lingkungan yang sama dengan yang dikalibrasi.¹³ Untuk penggunaan instrumen dan sensor dalam kondisi lingkungan yang berbeda, perlu ada koreksi yang tepat untuk memodifikasi input pengukuran.

Instrumen yang digunakan sebagai standar dalam prosedur kalibrasi di pilih yang memiliki akurasi lebih besar dari instrumen yang akan dikalibrasi. Karena instrumen tersebut hanya digunakan untuk tujuan kalibrasi, akurasi yang lebih besar sering dapat dicapai dengan menentukan jenis instrumen yang akan cocok untuk pengukuran proses normal. Misalnya, kekasaran bukan keharusan, dan kebebasan dari kendala ini akan membuka lebih luas dari instrumen. Dalam prakteknya, akurasi yang tinggi, instrumen nol-jenis yang sangat umum digunakan untuk kalibrasi, karena kebutuhan untuk operator manusia bukan masalah dalam keadaan ini.

Kalibrasi instrumen harus diulang pada interval yang ditentukan karena karakteristik suatu instrumen dapat berubah selama satu periode. Perubahan karakteristik instrumen dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti masalah mekanik instrumen, dan efek dari kotoran, debu, asap, bahan kimia dan perubahan suhu di lingkungan operasi. Untuk sebagian besar besarnya penyimpanan tergantung pada jumlah penggunaan instrumen yang diterima seperti, keausan dan lamanya waktu yang dikenakan lingkungan operasi. Namun, beberapa pergeseran juga terjadi

¹³ Alan S. Morris, *Measurement & Instrumentation Principles*, Inggris: Butterworth Heinemann, 2001, hlm. 64

bahkan dalam penyimpanan, sebagai akibat dari efek penuaan komponen dalam instrumen.

Sebuah tindakan yang tepat harus dijelaskan dengan sebaik-baiknya untuk menggambarkan prosedur yang harus diikuti ketika instrumen ditemukan saat proses kalibrasi, yaitu ketika output berbeda dengan yang ada pada instrumen kalibrasi ketika input yang sama diterapkan. Tindakan yang diperlukan sangat tergantung pada sifat dari perbedaan tersebut dan jenis instrumen yang terlibat. Dalam banyak kasus, penyimpangan dalam bentuk bisa sederhana dapat diperbaiki dengan penyesuaian kecil untuk instrumen. Dalam kasus lain, skala output instrumen mungkin harus digambar ulang, atau faktor skala diubah di mana output instrumen merupakan bagian dari kontrol atau inspeksi sistem otomatis. Dalam kasus ekstrim, di mana prosedur kalibrasi muncul tanda-tanda kerusakan instrumen, mungkin perlu untuk dilakukan perbaikan instrumen.

Apapun sistem dan frekuensi kalibrasi yang dilakukan, adalah penting untuk mengulas dari waktu ke waktu untuk memastikan bahwa sistem tetap efektif dan efisien. Rekaman sejarah kalibrasi instrumen akan menjadi dasar utama yang ulasan ini dibuat. Ini mungkin terjadi bahwa instrumen mulai keluar dari kalibrasi lebih cepat dari periode waktu yang diprediksi, baik karena faktor instrumen yang telah lama atau karena perubahan lingkungan operasi. Kondisi atau mode penggunaan instrumen juga mungkin berubah. Sebagai kondisi lingkungan dan penggunaan instrumen dapat berubah menguntungkan serta merugikan, ada kemungkinan interval kalibrasi yang direkomendasikan dapat menurunkan serta meningkatkan.

2.1.2.2. Rantai Kalibrasi dan Ketertelusuran Pengukuran

Fasilitas kalibrasi yang disediakan dalam departemen instrumentasi dari suatu perusahaan merupakan urutan pertama dalam rantai kalibrasi. Instrumen yang digunakan untuk kalibrasi pada tingkat ini dikenal sebagai standar kerja. Seperti bekerja instrumen standar tersebut disimpan oleh departemen instrumentasi dari perusahaan untuk tugas kalibrasi, dan dapat diasumsikan bahwa para petugas lab. akan menjaga akurasi selama periode waktu yang wajar. Karena penggunaan terkait penurunan akurasi sebagian besar dihilangkan. Namun, dalam jangka panjang karakteristik instrumen standar bahkan seperti akan melayang, terutama karena efek penuaan dalam komponen dalam diri mereka. Oleh karena itu, untuk jangka panjang, sebuah program harus dilembagakan untuk kalibrasi instrumen standar pada interval waktu yang tepat terhadap instrumen akurasi belum tinggi. Instrumen yang digunakan untuk kalibrasi instrumen standar yang dikenal sebagai standar referensi sekunder. Ini jelas harus menjadi instrumen yang baik untuk memberikan akurasi yang tinggi dan stabil terhadap penyimpangan dalam kinerja dengan waktu tertentu.

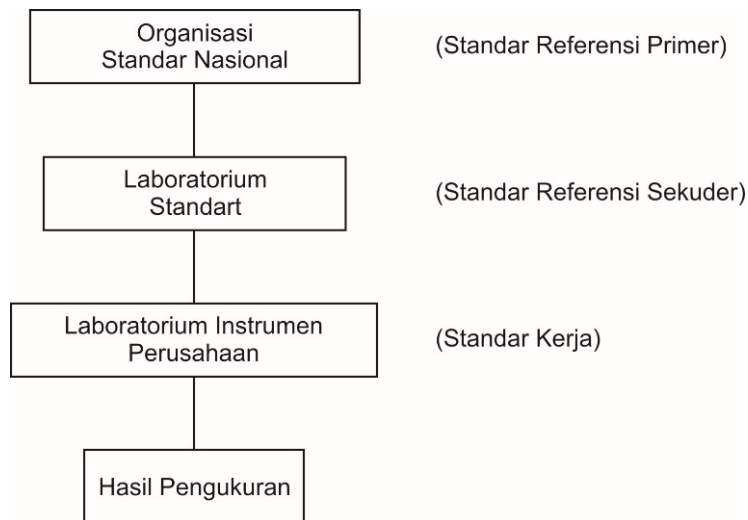
Ketika instrumen standar kerja telah dikalibrasi oleh yang berwenang di laboratorium, sertifikat kalibrasi akan dikeluarkan. Ini akan berisi setidaknya informasi berikut¹⁴:

1. Identifikasi peralatan dikalibrasi
2. Hasil kalibrasi diperoleh
3. Ketidakpastian pengukuran

¹⁴ *Ibid.*, hlm. 67

4. Keterbatasan digunakan pada peralatan dikalibrasi
5. Tanggal kalibrasi
6. Otoritas di mana sertifikat dikeluarkan.

Berikut ini adalah hierarki dari rantai kalibrasi secara utuh:



Gambar 2.6. Rantai Kalibrasi

Standar referensi primer, seperti yang tercantum dalam gambar 2.6, menggambarkan tingkat akurasi tertinggi yang dapat dicapai dalam pengukuran kuantitas fisik tertentu. Semua item dari peralatan yang digunakan dalam Standar Laboratorium sebagai standar referensi sekunder harus dikalibrasi diri terhadap standar acuan utama pada interval waktu yang tepat. Prosedur ini diakui oleh sertifikat kalibrasi dengan cara standar. Standar Nasional Organisasi menjaga fasilitas yang sesuai untuk kalibrasi ini. Dalam kasus tertentu, standar referensi utama tersebut dapat berada di luar Standar Nasional Organisasi. Dalam kasus-kasus tertentu (misalnya pengukuran viskositas), standar referensi utama tersebut tidak tersedia dan standar acuan untuk kalibrasi dicapai dengan kerjasama antara

beberapa Standar Nasional Organisasi yang melakukan pengukuran pada sampel identik dalam kondisi yang terkendali¹⁵.

Apa yang muncul dari pembahasan sebelumnya adalah bahwa kalibrasi memiliki rantai seperti struktur di mana setiap instrumen dalam rantai dikalibrasi terhadap instrumen yang lebih akurat tepat di atasnya dalam rantai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Semua elemen dalam rantai kalibrasi harus diketahui sehingga proses kalibrasi instrumen di bagian bawah rantai dapat dilacak dengan standar pengukuran yang mendasar. Ini pengetahuan tentang rantai kalibrasi instrumen yang terlibat dalam prosedur kalibrasi dikenal sebagai ketelusuran pengukuran, dan ditetapkan sebagai persyaratan wajib dalam memenuhi standar BS EN ISO 9000. Dokumentasi harus ada yang menunjukkan bahwa instrumen proses yang dikalibrasi oleh instrumen standar yang dihubungkan oleh rantai meningkatkan akurasi kembali ke standar acuan nasional.

2.1.2.3. Pengendalian Lingkungan Kalibrasi

Instrumen yang digunakan sebagai standar dalam prosedur kalibrasi harus disimpan hanya untuk tugas kalibrasi dan tidak boleh digunakan untuk tujuan lain. Terutama, tidak bisa dianggap sebagai instrumen cadangan yang dapat digunakan untuk pengukuran proses. Penyediaan tepat untuk kegagalan instrumen proses harus dilakukan dengan menjaga cadangan alat proses. Instrumen kalibrasi standar harus benar-benar terpisah.

Untuk memastikan bahwa kondisi ini terpenuhi, fungsi kalibrasi harus dikelola dan dijalankan secara profesional. Hal ini biasanya dilakukan ditempat tertentu

¹⁵ ISO 5725, 1998

dalam departemen instrumentasi dari sebuah perusahaan di mana semua operasi kalibrasi berlangsung dan semua instrumen yang digunakan untuk kalibrasi disimpan. Sejauh ini harus mengambil bentuk ruang yang terpisah, dari daerah di ruangan yang digunakan untuk tujuan lain juga. Hal ini akan memungkinkan pengendalian lingkungan yang lebih baik untuk diterapkan di daerah kalibrasi dan juga akan menawarkan perlindungan yang lebih baik terhadap penanganan yang tidak sah atau penggunaan instrumen kalibrasi di luar prosedur. Tingkat pengendalian lingkungan diperlukan selama kalibrasi harus dipertimbangkan secara hati-hati dengan memperhatikan tingkat akurasi yang diperlukan dalam prosedur kalibrasi. Ruangan dengan AC yang banyak juga tidak diperlukan untuk kalibrasi pada tingkat ini, karena sangat mahal. Tapi tindakan pencegahan yang harus diambil untuk menjaga wilayah dari panas atau dingin yang ekstrim. Serta untuk menjaga kebersihan laboratorium kalibrasi.¹⁶

Prosedur manajemen kalibrasi begitu penting untuk menjaga kinerja semua operasi kalibrasi yang ditugaskan sebagai tanggung jawab berjumlah satu orang. Orang ini harus memiliki kontrol penuh atas fungsi kalibrasi, serta dapat membatasi akses ke laboratorium kalibrasi. Hanya dengan memberikan tanggung jawab kepada satu orang yang melakukan kontrol penuh terhadap kalibrasi dapat diharapkan beroperasi secara efisien dan efektif. Manajemen yang profesional sangat penting sehingga pelanggan dapat yakin bahwa sistem kalibrasi yang efisien dalam sistem operasinya sehingga keakuratan pengukuran dijamin.

¹⁶ *Ibid.*, hlm. 66

2.1.2.4. Pentingnya Melakukan Kalibrasi pada Alat Ukur

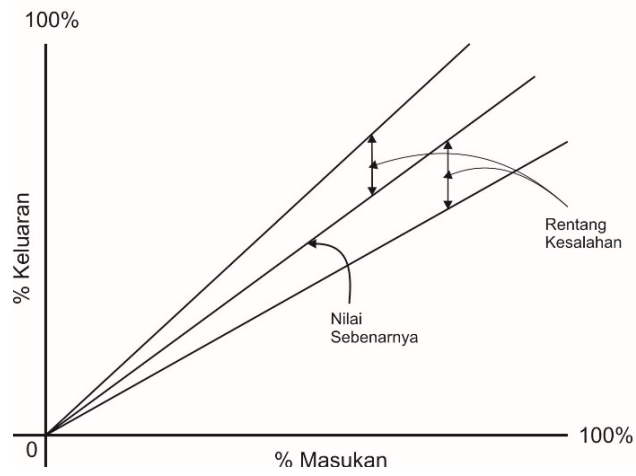
Sangat jelas bila kalibrasi diperlukan untuk instrumen-instrumen baru. Hal ini dilakukan untuk memastikan instrumen tersebut memberikan indikasi atau sinyal output yang akurat setelah diproduksi. Akan tetapi meskipun instrument beroperasi dengan benar, belum tentu indikasi pengukuran yang kita harapkan. Oleh karena itu alat perlu dikalibrasi secara berkala agar memberikan indikasi pengukuran yang valid.¹⁷

Kesalahan pada instrumen dapat terjadi karena berbagai faktor yaitu: penyimpangan, lingkungan, sumber listrik, penambahan komponen untuk *loop output*, perubahan proses, dan lain-lain. Sejak kalibrasi dilakukan dengan membandingkan atau menerapkan sinyal pada instrumen yang diuji, kesalahan akan terdeteksi saat melakukan kalibrasi. Kesalahan adalah perbedaan antara aljabar indikasi dan nilai sebenarnya dari variabel yang diukur. Kesalahan khas yang terjadi antara lain:

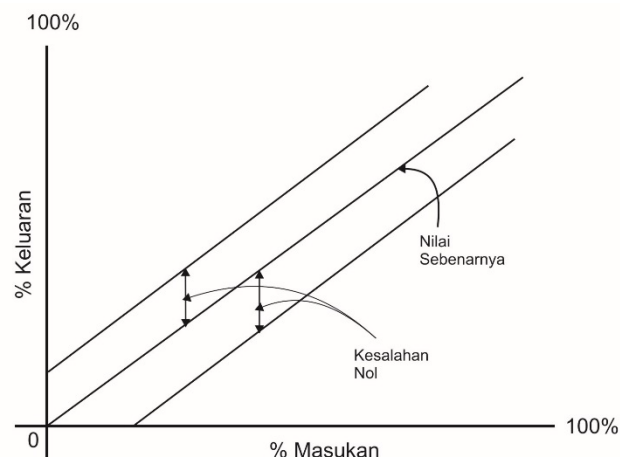
1. Rentang Kesalahan
2. Kesalahan Nol
3. Gabungan kesalahan nol dan rentang kesalahan
4. Kesalahan linear

Berikut ini merupakan gambar grafik yang menggambarkan jenis – jenis kesalahan saat melakukan kalibrasi.

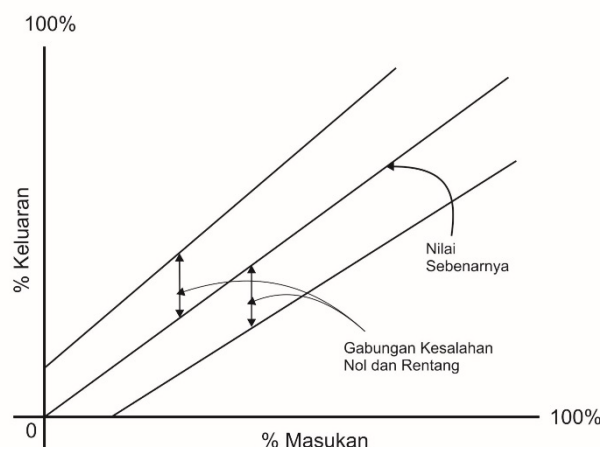
¹⁷ Mike Cable, *op.cit.*, hlm. 6



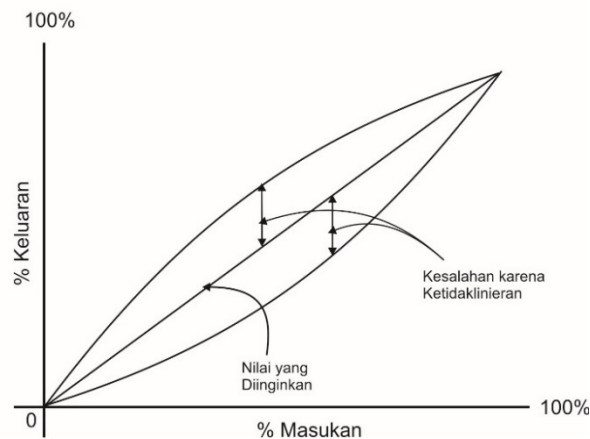
Gambar 2.7. Grafik Rentang Kesalahan



Gambar 2.8. Grafik Kesalahan Nol



Gambar 2.9. Grafik Gabungan Kesalahan Nol dan Rentang Kesalahan



Gambar 2.10. Grafik Kesalahan Linear

Kesalahan titik Nol dan kesalahan rentang dikoreksi dengan melakukan kalibrasi. Kebanyakan instrumen yang disediakan dengan cara menyesuaikan nol dan rentang instrumen, bersama dengan instruksi untuk melakukan penyesuaian ini. Penyesuaian nol digunakan untuk prosedur pergeseran paralel kurva input-output. Penyesuaian rentang digunakan untuk mengubah kemiringan kurva input-output. Kesalahan linierisasi dapat dikoreksi jika alat tidak dapat diterima dan tidak dapat disesuaikan, jadi instrumen tersebut harus diganti.

Untuk mendeteksi dan kesalahan instrumen yang benar, kalibrasi periodik perlu dilakukan. Bahkan jika kalibrasi periodik telah dilakukan tetapi tidak ada data hasil kalibrasi yang lama, kita tidak akan tahu bila alat ini telah dikalibrasi sebelumnya. Kalibrasi berkala untuk toleransi yang ditentukan dengan menggunakan prosedur yang disetujui merupakan elemen penting dari setiap sistem yang bermutu.

2.1.3. Termometer

Sampai sekitar abad ke-18 orang tidak dapat mengukur secara akurat berapa panasnya atau dinginnya suatu benda. Ketika tidak ada seorangpun yang dapat memberitahukan secara akurat berapa perbedaan tingkat kepanasan suatu hari dengan hari lainnya. Dahulu manusia hanya mengandalkan perasaan saja. Contohnya seorang dokter atau perawat hanya menggunakan perasaan hasil rabaan di dahi seorang penderita demam untuk memeriksa turun-naiknya panas badan orang tersebut.

Pada saat menyentuh benda panas, indera peraba akan merasakan panas. Hal ini disebabkan oleh perpindahan energi yang mengalir dari benda panas ke indera peraba. Arah perpindahan energi panas selalu dari benda yang memiliki suhu tinggi ke benda yang memiliki suhu rendah. Besaran yang menyatakan panas atau dinginnya suatu benda terhadap suatu ukuran standar dinamakan temperatur atau suhu. Seiring perkembangannya zaman, manusia terus melakukan percobaan untuk mendapatkan suatu alat baku untuk menentukan suhu suatu benda. Kemudian muncullah alat bernama termometer yang memiliki skala-skala untuk mengetahui panas atau dinginnya suatu benda. Skala-skala termometer tersebut dibuat berdasarkan perubahan sifat-sifat fisis benda akibat perubahan suhu, misalnya perubahan volume, perubahan sifat magnetik, perubahan sifat listrik ataupun perubahan sifat optik.¹⁸

¹⁸ Yohanes Surya, *Suhu dan Termodinamika*, Tangerang: Kandel, 2009, hlm. 4

2.1.3.1. Jenis - Jenis Termometer

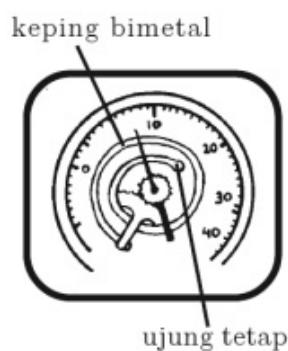
Alat yang dirancang untuk mengukur suhu adalah termometer. Terdapat banyak jenis termometer, tetapi prinsip kerjanya sebenarnya sama. Biasanya, kita memanfaatkan materi yang bersifat termometrik (sifat materi yang berubah terhadap temperatur). Maksudnya, kalau suhu materi tersebut berubah, bentuk dan ukuran materi tersebut juga ikut-ikutan berubah. Kebanyakan termometer menggunakan materi yang bisa memuai ketika suhunya berubah. Berikut ini adalah jenis – jenis termometer:

1. Termometer Raksa dan Termometer Alkohol

Kedua jenis termometer ini memanfaatkan sifat perubahan volume raksa dan alkohol ketika terjadi perubahan suhu. Raksa dan alkohol sangat mudah memuai ketika suhu naik dan mudah menyusut ketika suhu turun. Termometer ini umumnya terdiri dari sebuah pipa kecil yang diisi dengan air raksa atau alkohol berwarna (alkohol diberi warna agar dapat dengan mudah dilihat). Diujung bawah pipa dipasang sebuah logam kecil yang bertindak sebagai perantara antara benda yang hendak diukur panasnya dengan cairan dalam pipa. Ketika logam ini didekatkan pada benda yang akan diukur suhunya, panas akan mengalir ke cairan dalam pipa dan akan menyebabkan cairan memuai (jika suhu lebih rendah dari suhu cairan, cairan menyusut). Dengan mengukur besarnya pemuaiian dan penyusutan cairan itu, kita dapat menentukan suhu benda itu relatif terhadap suhu acuan.

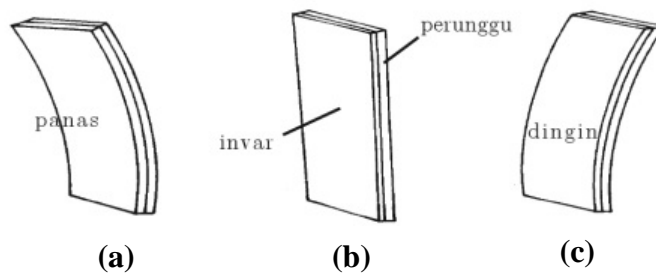
2. Termometer Bimetal

Termometer ini dibuat berdasarkan pemuaian zat padat ketika suhunya dinaikkan. Termometer ini terdiri dari dua logam yang disatukan pada sisinya dan digulung seperti sebuah spiral (gambar 2.12a). kedua logam yang digunakan mempunyai sifat yang berbeda. Logam yang satunya lebih mudah memuai (bertambah panjang) dibandingkan dengan logam yang lain. (gambar 2.12b) menunjukkan dua logam yang disatukan (bimetal). Sisi yang satu terbuat dari perunggu dan sisi lain terbuat dari invar (perunggu lebih sulit memuai). Pada waktu logam ini dipanaskan, perunggu lebih cepat memanjang dibandingkan invar sehingga logam akan membelok ke arah invar. Keping logam (bimetal) yang membentuk spiral ini satunya diikat pada ujung tetap, sedangkan ujung yang lain dihubungkan dengan penunjuk jarum (gambar 2.11). Ketika keping logam dipanaskan, keping ini melengkung (gambar 2.12a) dan menggerakkan jarum penunjuk ke skala lebih besar.



Gambar 2.11. Alat Ukur Menggunakan Keping Bimetal¹⁹

¹⁹ *Ibid.*, hal. 4



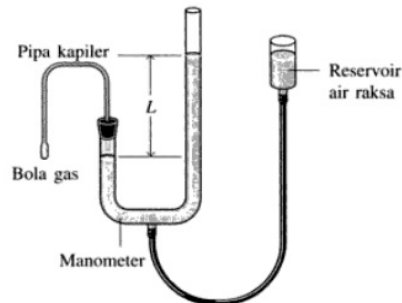
Gambar 2.12. Keping Bimetal²⁰

3. Termometer Gas

Termometer gas pada volume tetap, tekanannya akan bertambah ketika suhu dinaikkan. Termometer ini memiliki ketelitian dan keakuratan yang sangat tinggi, sehingga secara internasional dapat diterima sebagai instrumen standar untuk pengkalibrasian termometer lainnya. Termometer ini menggunakan gas sebagai senyawa termometrik (umumnya hydrogen dan helium), dengan memanfaatkan sifat termometrik berupa tekanan yang dihasilkan gas. Seperti tampak pada gambar, tabung berisi gas dan tekanan yang dihasilkan diukur menggunakan manometer air raksa tabung terbuka. Ketika temperatur meningkat, gas memuai sehingga mendorong air raksa dalam tabung terbuka ke atas. Volume gas dipertahankan tetap dengan menaikkan dan menurunkan reservoir. Termometer gas digunakan sebagai standar oleh badan standardisasi laboratorium riset di seluruh dunia. Karena termometer gas membutuhkan peralatan yang kompleks dan berukuran besar, memberikan respon yang lambat serta prosedur pengukuran yang rumit, maka pada kebanyakan pengukuran temperatur

²⁰ *Ibid.*, hlm. 4

digunakan termometer yang telah dikalibrasi (secara langsung maupun tidak langsung) dengan termometer gas.²¹



Gambar 2.13. Termometer Gas²²

4. Pirometer

Pirometer merupakan alat pengukur suhu yang sangat tinggi sekali. Alat ini digunakan dengan mengukur banyaknya radiasi panas yang dipancarkan oleh suatu benda yang panas sekali (seperti dapur api) yang suhunya akan kita ukur. Termometer ini dapat mengukur temperatur suatu benda tanpa menyentuhnya, sehingga sangat sesuai untuk pengukuran temperatur benda bergerak atau benda dengan temperatur sangat tinggi. Karena termometer biasa tidak dapat digunakan karena pada suhu tinggi logam-logam pada termometer tersebut akan melebur.



Gambar 2.14. Pirometer²³

²¹ Michael. J. Moran, *Termodinamika Teknik Jilid 1*, Jakarta: Erlangga, 2004, hlm. 20

²² *Ibid.*, hlm. 20

²³ Anonim, *Pirometer*, www.academline.com/docs/prices/images/pirometer.jpg, diakses pada 1 Januari 2016 pukul 19.30 WIB

2.1.3.2. Standar Temperatur

Temperatur merupakan besaran pokok yang dapat digunakan sebagai standar baku internasional. Skala yang digunakan dalam satuan SI yaitu skala Kelvin dikenal sebagai skala dasar (*fundamental scale*) kepada mana semua temperatur akan diacu. Temperatur pada skala ini dinyatakan sebagai $^{\circ}K$ dan dengan symbol T .

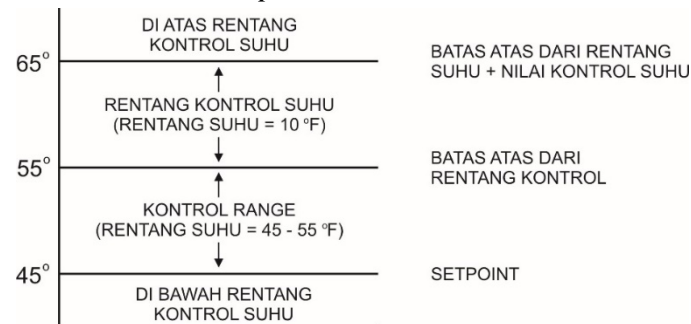
Mesin *chiller* dengan merk YORK merupakan mesin pendingin yang di produksi oleh perusahaan asal Amerika Serikat. Oleh karena itu standar temperatur yang ditetapkan oleh mesin pendingin (*chiller*) menggunakan satuan Fahrenheit ($^{\circ}F$). Satuan temperatur ini digunakan oleh seluruh sistem *chiller* baik untuk pengaturan suhu air pendingin, maupun suhu oli mesin kompressor.²⁴

Untuk melakukan pengaturan suhu, pengguna bisa melakukan pengaturan kontrol pendingin suhu cairan (air) yaitu *leaving water temperature* dan *return water temperature*. Dengan melakukan pengaturan kedua poin di atas akan memberikan kontrol yang baik terhadap proses beban pendinginan pada *chiller*. Hal ini akan mengoptimalkan beban kompressor dengan menghasilkan suhu air dingin yang stabil yang mengalir dengan konstan dan rating kontrol yang diprogram dengan benar. Berikut ini adalah *setpoint* pengaturan *return water temperature* dan *leaving water temperature*.

- a. *Return Water Temperature (RWT)*: *return water temperature* akan menghasilkan pembebanan kompressor lebih minim dengan menghasilkan

²⁴ YORK International Corp., *Installation Operation and Maintenance Guide*, New York: York Corp., 1994, hlm. 41

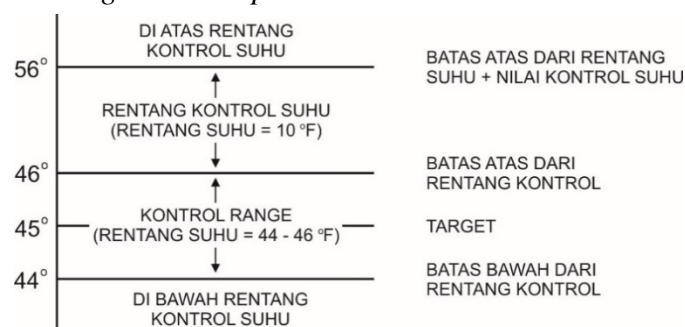
suhu cairan dingin yang tetap stabil. Berikut ini adalah setpoint suhu untuk pengaturan *return water temperature*.



Gambar 2.15. Kontrol *Return Water Temperature*²⁵

Rentang suhu adalah kisaran suhu yang akan berlangsung saat kompresor melakukan proses pembebanan. Pada gambar di atas terlihat Target suhu yang diinginkan tertelak pada kontrol range berada pada suhu 45 – 55 °F. Batas atas diberi rentang 10 °F dari kontrol range.²⁶

- b. *Leaving Water Temperature (LWT)*: *leaving water temperature* cocok untuk memberikan kenyamanan pendinginan, tetapi dapat menambah beban kerja kompresor. Berikut ini adalah setpoint suhu untuk pengaturan *leaving water temperature*.



Gambar 2.16. Kontrol *Leaving Water Temperature*²⁷

²⁵ YORK International Corp., *Installation Operation and Maintenance Guide*, New York: York Corp., 1994, hlm. 43

²⁶ *Ibid.*, hlm. 46

²⁷ *Ibid.*, hlm. 46

Pada gambar di atas terdapat diagram kontrol *leaving water temperature* yang digunakan sebagai kontrol suhu air *chiller*. Terdapat rentang suhu yang berfungsi untuk membatasi beban kerja kompresor sehingga dapat menghemat energi dan mengurangi keausan pada komponen mekanik. Target suhu yang diinginkan tertelak pada kontrol range (45-55 °F).²⁸ Diantara batas atas dari rentang kontrol dan target, kompresor akan melakukan pembebanan selama 150 detik sampai suhu turun di bawah target suhu yang diinginkan. Rentang kontrol suhu (10 °F) berfungsi untuk mencegah bongkar muat dari kompresor saat suhu turun lebih cepat dari 2x sensitifitasnya saat diprogram. Dibatas atas rentang suhu *chiller* akan bekerja secepat mungkin untuk mendapatkan suhu sesuai rentang kontrol suhu yang diinginkan.

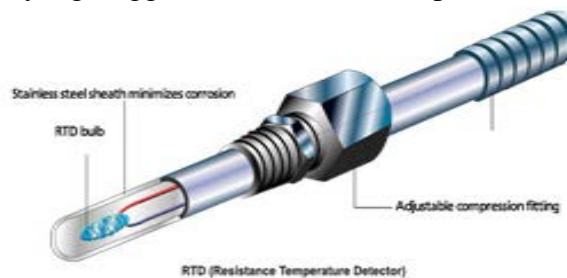
2.1.3.3. Sensor – Sensor Suhu

Sensor merupakan perangkat input baik yang bersifat digital maupun analog. Sensor suhu yang menghasilkan sinyal-sinyal analog harus terlebih dahulu dikonversikan menjadi sinyal digital sebelum dihubungkan ke port kontrol. Berikut ini adalah jenis dari sensor suhu yang umum digunakan:

1. Detektor suhu resistif (*Resistive Temperature Detector – RTD*). Tahanan listrik dengan bahan logam atau semikonduktor akan berubah seiring dengan perubahan suhu. Dalam kasis bahan logam, yang paling sering digunakan adalah platina, nikel, atau nikel campuran, yang tahanan listriknya bisa berubah-ubah secara linear dengan perubahan suhu pada kisaran suhu yang

²⁸ *Ibid.*, hal. 46

cukup lebar. Meskipun perubahan tahanan actual per derajat suhu sangat kecil. Bahan-bahan semikonduktor, seperti thermistor, memperlihatkan perubahan tahanan yang sangat besar dengan berubahnya suhu. Akan tetapi, perubahan tersebut tidak linear. RTD memiliki kelebihan yaitu stabilitas kerja yang tinggi, akurasi pengukuran yang tinggi dan lebih linear daripada termokopel.



Gambar 2.17. Sensor *Resistive Temperature Detector (RTD)*²⁹

2. *Termodioda* dan *termotransistor* atau *termistor*. Sensor ini digunakan karena kecepatan difusi antara electron dan hole pada sambungan (*junction*) bahan semikonduktor dipengaruhi oleh suhu. Selain itu, terdapat pula dalam bentuk rangkaian terpadu yang menggabungkan elemen sensitif suhu dengan rangkaian listrik yang tepat untuk menghasilkan tegangan output yang mempresentasikan suhu. Kemasan rangkaian terpadu (IC) yang digunakan adalah LM35 yang menghasilkan output 10mV/°C dengan sumber tegangan sebesar +5 V.



Gambar 2.18. Sensor *Termistor*³⁰

²⁹ Thermometriccorp, *Sensor RTD*, www.thermometriccorp.com/images/RTD/rtd.jpg, diakses pada 20 Desember 2015 pukul 21.00 WIB

³⁰ Anonim, *Sensor Termistor*, http://static.coleparmer.com/large_images/89551_65.jpg, diakses pada 20 Desember 2015 pukul 21.00 WIB

3. Termokopel (T/C). Pada dasarnya terdiri dari dua buah kawat yang berbeda, A dan B yang membentuk sebuah sambungan. Ketika sambungan tersebut dipanaskan sehingga suhunya naik melebihi sambungan-sambungan lainnya yang ada pada rangkaian (dimana sambungan-sambungan ini tetap berada pada suhu yang relative dingin dan konstan), sebuah g.g.l yang sebanding dengan suhu sambungan yang panas dibangkitkan. Tegangan yang dihasilkan oleh termokopel pada umumnya kecil dan membutuhkan penguatan sebelum dapat diumpankan ke kanal input analog. Rangkaian untuk mengkompensasikan suhu sambungan yang dingin juga dibutuhkan karena suhu sambungan yang dingin dipengaruhi g.g.l yang dibangkitkan oleh sambungan panas. Penguatan dan pengkompensasian, bersama dengan rangkaian tapis (*filter*) untuk mengurangi pengaruh interferensi dari sumber daya 50 Hz. Kelebihan termokopel yaitu sederhana, murah range respon suhu yang luas. Beberapa tipe kombinasi logam penghantar termokopel yaitu tipe K (kromel-alumel), tipe E (kromel-konstantan), tipe J (besi-konstantan), tipe T (tembaga-konstantan) dan tipe R-S (platinum-platinum rhodium).



Gambar 2.19. Sensor Termokopel³¹

³¹ Omega, *Sensor Termokopel*, www.omega.com/Temperature/images/88L40K_88L75K_1.jpg, diakses pada 20 Desember 2015 pukul 21.00 WIB

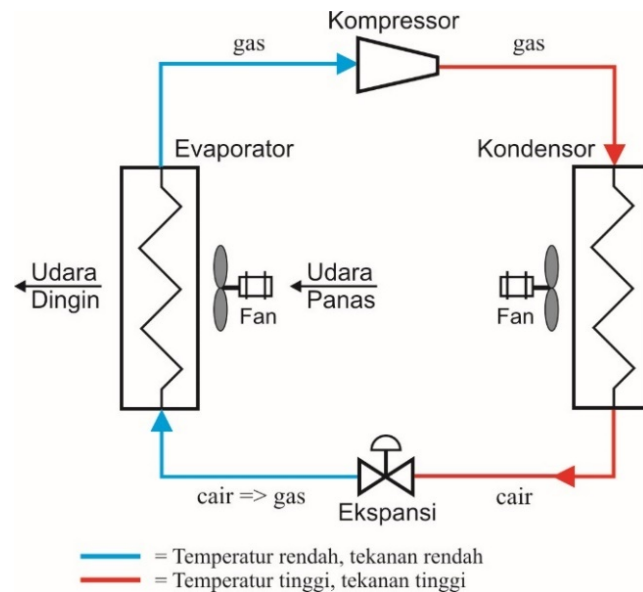
2.1.4. Teknik Pendinginan

Teknik pendinginan turut meningkatkan kehidupan manusia menjadi lebih baik. Hal ini disebabkan oleh adanya kerjasama yang terjalin erat antara para peneliti, dan teknisi guna membantu pekerjaan yang tidak bisa dilakukan oleh manusia. Aplikasi teknik pendinginan begitu luas dan telah lama dilakukan untuk proses pengawetan makanan. Hampir semua hasil pertanian, industry makanan dan laboratorium menggunakan proses pendinginan. Kini teknik pendinginan lebih luas lagi dikembangkan bahkan untuk memberi kenyamanan pada manusia dalam melakukan pekerjaannya. Di kantor – kantor dan gedung bertingkat misalnya, saat ini pasti menggunakan teknik pendingin untuk mengatur suhu ruangan agar lebih nyaman. Tak hanya di perkantoran, di pusat perbelanjaan pun menggunakan pendingin ruangan untuk memberikan kenyamanan pengunjung.

2.1.4.1. Cara Kerja Sistem Pendingin

Sistem pendinginan berfungsi untuk membuang atau mengeluarkan panas yang tidak diinginkan dari satu tempat ke tempat lain. Untuk melaksanakannya refrijeran dialirkan melalui suatu sistem rangkaian tertutup. Jika sistem rangkaian tidak di design tertutup maka setiap siklus diperlukan refrijeran yang baru dan hal ini tentu tidak hemat dan menimbulkan polusi udara.³² Oleh karena itu, diperlukan sistem rangkaian tertutup, agar refrijeran dapat dipakai berulang-ulang untuk menyerap dan membuang panas. Siklus pendinginan secara sederhana dapat dilihat pada gambar 2.20 di bawah ini:

³² Ricky Gunawan, *Pengantar Teori Teknik Pendinginan (Refrijerasi)*, Jakarta: Depdikbud – Dirjen Pendidikan Tinggi, 1988, hlm. 10



Gambar 2.20. Siklus Pendinginan Secara Sederhana

Terdapat dua sisi yang berbeda, yaitu sisi tekanan rendah dimana evaporator ditempatkan dan sisi tekanan tinggi dimana kondensor berada. Ke dua sisi bertekanan ini dipisahkan oleh 2 alat yaitu alat kontrol (ekspansi) yang berfungsi membatasi jumlah aliran serta menurunkan tekanan dan temperatur refrigeran. Sedangkan kompresor berfungsi untuk mengkompresikan gas refrigeran dan menaikkan temperatur kondensasi.

Alat kontrol membatasi cairan refrigeran yang bertekanan tinggi dan temperatur rendah mengalir masuk ke evaporator. Cairan refrigeran mengalir ke sepanjang evaporator sambil mengambil panas dari ruangan dan berangsur – angsur berubah menjadi gas dengan temperatur dan tekanan yang rendah.

Gas refrigeran tadi dihisap masuk ke kompresor dan dikompresikan menjadi gas bertekanan tinggi dan ditekan menuju kondensor. Kondensor berfungsi sebagai membuang panas yang ada di gas tadi dan membuangnya melalui udara luar. Proses perpindahan kalor sendiri dapat melalui beberapa media berupa udara (kondensor

udara), air (kondensor air) dan campuran air-udara (kondensor evaporatif). Setelah panas refrijeran dibuang maka refrijeran akan berubah fasa menjadi cairan bertemperatur dan bertekanan tinggi.

Refrijeran ini akan mengalir melalui alat kontrol (ekspansi) sebelum masuk ke evaporator. Di dalam alat ekspansi refrijeran dipaksa mengalir melalui lubang kecil, sehingga suhu dan tekanannya menjadi turun kembali sesuai kondisi yang dapat diterima evaporator. Setelah melewati lubang kecil pada ekspansi, refrijeran akan mudah menguap kembali.

2.1.5. Komponen Sistem Pendinginan

Dalam suatu sistem pendinginan setidaknya terdapat komponen – komponen penting yang harus dimiliki agar sistem dapat bekerja secara baik. Selain itu, perlu perencanaan yang matang agar sistem pendinginan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Terlebih sistem pendinginan membutuhkan peralatan yang tidak murah, karena kebutuhan akan sistem tata udara di gedung-gedung sangat besar.

2.1.5.1. Evaporator

Evaporator adalah salah satu komponen utama dari sistem pendinginan, di dalamnya mengalir cairan refrijeran yang berfungsi sebagai penyerap panas dari produk yang didinginkan sambil berubah fasa. Terkadang evaporator disebut *boiler*, *freezing unit*.³³ Temperatur refrijeran di dalam evaporator selalu lebih rendah daripada temperatur sekelilingnya, sehingga panas dapat mengalir ke refrijeran.

³³ *Ibid.*, hlm. 10

Evaporator dikelompokkan dalam beberapa grup tergantung pada pemakaiannya, bentuknya, ukurannya. Adapun klasifikasinya adalah sebagai berikut:

- a. Evaporator Bersirip (*finned evaporator*): evaporator jenis ini terdiri dari pipa-pipa telanjang (*bare-bare/pipe*) yang dibuat melingkar (*coil*) atau berjajar dan di atasnya diletakkan pelat/batang logam kecil agar pipa-pipa itu bersatu. Selain itu, batang logam kecil itu dimaksudkan untuk memperluas permukaan evaporator, agar dapat terjadi perpindahan panas dengan baik. Evaporator jenis ini dimaksudkan untuk sistem pengkondisian udara (AC) yang tentunya memiliki temperatur di atas 32°F. Karena perpindahan panasnya dipercepat maka uap uap-uap air akan menempel dan membeku jika temperatur sudah mencapai 32°F dan hal ini tidak boleh dibiarkan berlanjut, karena akan menghambat laju perpindahan panas.
- b. *Frosting Evaporator*. Jenis evaporator ini adalah jenis evaporator yang mempunyai temperatur dalam yang tidak melampaui 32 °F pada saat bekerja normal. Evaporator lemari es rumah tangga, dan evaporator jenis pipa telanjang masuk dalam *frosting evaporator*.



Gambar 2.21. *Frosting Evaporator*³⁴

³⁴ Anonim, *Frosting Evaporator*, www.applianceaid.com/images/364a.jpg, diakses pada 20 Desember 2015 pukul 21.00 WIB

- c. Evaporator *Defrost (defrosting evaporator)*. Evaporator jenis ini mempunyai temperatur antara di bawah 32 °F dan di atas 32 °F (pada sistem berhenti). Untuk itu digunakan jenis evaporator bersirip (*finned coil*), karena di perlukan suatu perpindahan panas yang lebih cepat saat sistem berhenti. Biasanya jenis ini dipakai untuk kotak-kotak pendingin yang bertemperatur antara 35 °F sampai 40 °F dan menggunakan *fan* untuk mensirkulasikan udara.
- d. Evaporator Tanpa Bunga Es (*non-frosting coils*). Evaporator ini dipakai untuk sistem yang selalu bekerja pada temperatur di atas 32 °F. Biasanya dipakai pada sistem AC, pendinginan roti dan permen.
- e. Koil Ekspansi. Evaporator jenis ini terdapat 2 katup yaitu terdiri dari katup ekspansi dan yang lainnya ke saluran masuk ke kompressor. Koil jenis ini merupakan koil jenis terusan (*continuous tube types*), refrijeran mengalir masuk dan keluar pada ujung yang sama. Untuk jenis lainnya, pada ujung masuknya dipasang header (alat distribusi) dan tampungan pada sisi keluarnya. Dengan demikian ada sebagian refrijeran yang tetap dalam keadaan cair, biasa disebut *wet expansion*. Jenis ini biasa digunakan pada kendaraan seperti truk atau kapal laut karena adanya bahaya cairan refrijeran yang mengalir masuk ke kompressor.
- f. Evaporator berpelampung pada sisi tekanan rendah (*low-side float coils*). Berikut ini adalah gambar dari evaporator jenis ini. Dapat dilihat bahwa pada tangki (tabung) di bagian atas koil terdapat pelampung yang mengatur aliran refrijeran ke dalam koil.

- g. Evaporator berpelampung pada sisi tekanan tinggi (*high-side float coils*). Sambungan saluran cairan dapat dilihat pada sisi bawah koil. Katup pelampung untuk koil jenis ini ditempatkan pada sisi luar koil dan dimasukkan ke dalam cairan pada bagian bawah koil agar di dapat kocokan yang baik. Pembesaran alur pipa pada ke dua sisi atas dimaksudkan sebagai header dan juga mencegah banjir di kompressor.

2.1.5.2. Kompresor

Fungsi kompressor pada sistem pendinginan uap (*vapor compression system*) ada 2 macam:

1. Untuk mengalirkan uap refrijerasi yang mengandung sejumlah panas dari evaporator.
2. Untuk menaikkan temperatur uap refrijerasi sampai mencapai titik saturasinya, titik tersebut lebih tinggi daripada temperatur medium pendinginnya.

Kompresor mengambil uap panas pada temperatur rendah di dalam evaporator dan memompakannya ke tingkat temperatur yang lebih tinggi dalam kondensor, karena itu biasa juga kompressor disebut "*head pump*".

Secara garis besar kompressor untuk refrijerasi dibagi dalam 4 kelompok besar, yaitu:³⁵

1. Kompresor torak (*reciprocating compressor*)

Beberapa yang harus diperhatikan pada torak jenis ini yaitu: 1) uap di dalam saluran masuk tidak akan mengalir masuk ke dalam silinder selama langkah

³⁵ *Ibid.*, hlm. 231

penuh, tetapi hanya setelah tekanan di ruang clearance berkurang (lebih kecil) dibanding tekanan pada saluran masuk. 2) volume *clearance* yang lebih kecil menyebabkan lebih sedikit uap yang berkembang di titik D dan akan lebih banyak uap yang tertangani. (3) jika katup tidak rapat, jumlah uap yang didapat akan berkurang.



Gambar 2.22. Kompresor Torak³⁶

2. Kompresor *Rotary*

Jenis kompresor ini terdiri dari sebuah silinder dan sebuah rotor yang mempunyai beberapa sudu. Garis sudu rotornya eksentrik terhadap sumbu silinder. Terdapat ruangan *clearance* yang sempit antara rotor dengan silinder dan lapisan film oli yang berfungsi sebagai perapat (*seal*). Sudu-sudu itu mempunyai pegas di bagian belakangnya, sehingga sudu-sudu itu terdorong ke depan. Dengan demikian sudu-sudu itu tetap menyentuh dinding silinder secara rapat tergantung dari gaya sentrifugalnya. Jika rotor itu berputar, maka gas yang masuk akan terjepit di antara 2 sudu yang berdekatan. Ruang itu makin lama makin kecil karena porosnya berputar, tekanannya akan naik dan

³⁶ American Eagle, *Compressor and Accessories Catalog*, Garner: American Eagle, 2015, hlm. 12

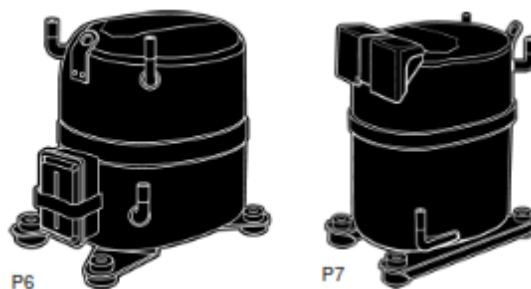
dikeluarkan pada ujung putaran. Kompresor jenis ini biasanya berputar pada putaran motor.



Gambar 2.23. Kompresor Rotasi³⁷

3. Kompresor *Hermetic*

Kompresor jenis ini langsung digerakkan oleh motor listrik, kompresor dengan motor listrik mempunyai poros yang sama berada dalam satu wadah tertutup. Kompresor jenis ini dipakai untuk lemari es rumah tangga, ruang penyimpanan di rumah tangga, lemari untuk es krim dan makanan, untuk pendingin air soda dan minuman. Kompresor hermetik bekerja dengan prinsip *reciprocating* maupun *rotary*, posisi porosnya bisa vertical maupun horizontal. Pada unit kompresor ini kecepatan motor listrik sama dengan kecepatan kompresornya sendiri.



Gambar 2.24. Kompresor *Hermetic*³⁸

³⁷ SIAM Compressor Industry, *Rotary Compressor Catalogue*, Chonburi: SIAM Compressor Industry, 2014, hlm. 24

³⁸ Copeland, *Hermetic Compressor Brochure*, England: Emerson Climate Technology, 2004, hlm. 12

4. Kompresor Sentrifugal

Seperti namanya, kompresor jenis ini mengkompresikan uap refrijeran dengan aksi sentrifugal. *Impeller* (sudu pendorong) berputar cepat menyebabkan uap terhisap masuk ke dalam lubang dekat poros penggerak dan mengeluarkannya lagi pada kecepatan yang tinggi. Kecepatan uap ini biasanya diikuti dengan perubahan tekanan. Agar di dapat jumlah tekanan yang diperlukan maka kompresor sentrifugal harus mempunyai motor penggerak yang dapat berputar pada kecepatan tinggi. Jika perbedaan tekanan yang diperlukan demikian besar, maka kompresor harus dibuat dalam beberapa tingkat, hasil yang keluar dari tingkat ke-1 merupakan masukan di tingkat ke-2 dan seterusnya. Kompresor jenis ini dapat menangani jumlah volume uap refrijeran yang besar pada tingkat efisiensi yang sangat tinggi. Jika perbedaan temperatur refrijeran rendah, maka jumlah tingkatnya akan berkurang pula. Oleh karena itulah untuk refrijeran yang mempunyai sifat seperti itu akan cocok jika memakai kompresor jenis sentrifugal. Kompresor ini digunakan untuk instalasi skala besar.



Gambar 2.25. Kompresor Sentrifugal³⁹

³⁹ Dresser Rand, *Datum Centrifugal Compressor Brochure*, New York: Dresser Rand Company, 2012, hlm. 1

2.1.5.3. Kondensor

Seperti halnya evaporator, kondensor juga merupakan bagian di mana perpindahan panas terjadi. Panas dari uap refrijeran menerobos dinding saluran kondensor ke media pendingin kondensor. Akibat dari hilangnya panas yang dikandung uap refrijeran, maka uap refrijeran itu berangsur-angsur berubah fasa menjadi cairan kembali.⁴⁰ Walaupun kadang brine (air garam) dipakai sebagai media pendingin di kondesor, tetapi umumnya media pendingin yang dipakai adalah air, udara dan campuran.

Secara garis besar kondensor terbagi menjadi 3 jenis yaitu:

- a. Kondensor berpendingin udara (*air cooled*).

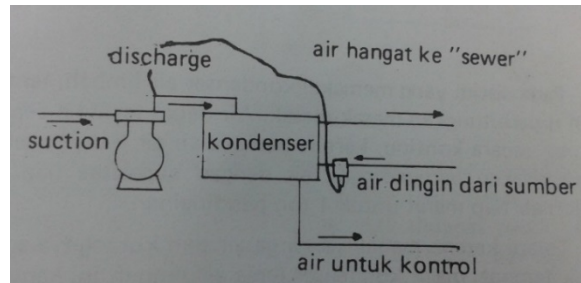
Udara yang bersirkulasi melewati kondensor berpendingin udara dapat terjadi secara alamiah dan dapat juga dengan cara dihembus dengan menggunakan blower atau kipas. Jika sirkulasinya terjadi secara alamiah, jumlah udara yang bersirkulasi melewati kondensor tentu sedikit, sehingga permukaan kondensor jenis ini relatif agak besar. Kerena itu, kondensor jenis ini hanya digunakan untuk instalasi kecil saja, seperti lemari es rumah tangga. Kondensor jenis ini harus diletakkan di tempat yang banyak mengalir udara/angina, agar dapat dicapai perpindahan panas seefektif mungkin

- b. Kondensor berpendingin air.

Kondensor jenis ini dapat dibagi dalam 2 jenis: sistem air limbah dan sistem air resirkulasi. Pada kondensor sistem air limbah, air berasal dari

⁴⁰ Ricky Gunawan, *op.cit.*, hlm. 169

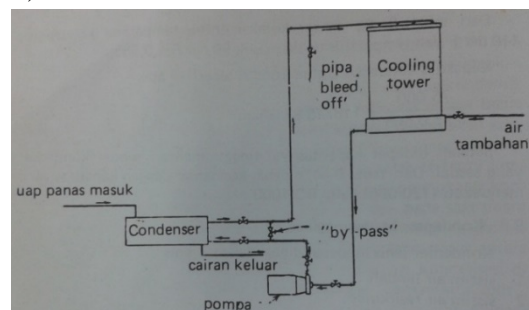
sumbernya setelah dialirkan melalui kompresor, air itu akan dibuang ke selokan sebagai limbah. Proses sirkulasinya seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.26. Kondensor Berpendingin Air Sistem Air Limbah⁴¹

Pada sistem pemakaian air limbah, tentu faktor air sudah diperhitungkan secara matang. Air dapat tersedia dengan mudah dan murah secara kontinu, karena pemakaian air banyak sekali jumlahnya. Oleh karena itu, kondensor jenis ini banyak dipakai untuk sistem berkapasitas kecil saja. Sumber air untuk kondensor ini berasal dari danau, sumur, pompa, sungai dan lain-lain.

Pada kondensor sistem resirkulasi, setelah dialirkan melalui kondensor air itu dialirkan ke *cooling tower* menggunakan pipa penyalur. Di *cooling tower* didinginkan kembali sampai temperaturnya sama seperti saat masuk (temperatur semula).



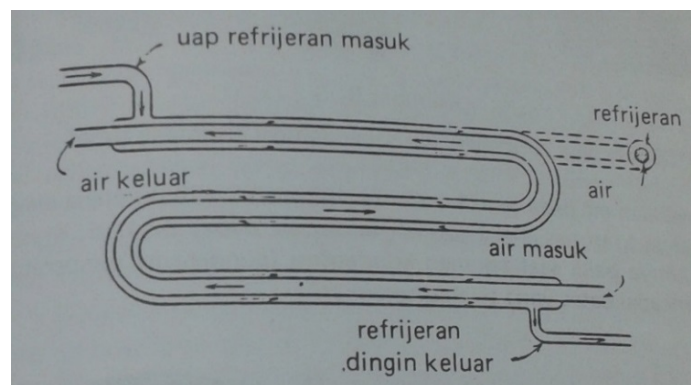
Gambar 2.27. Kondensor Berpendingin Air Sistem Resirkulasi⁴²

⁴¹ *Ibid.*, hlm. 177

⁴² *Ibid.*, hlm. 178

c. Kondensor berpendingin campuran.

Kondensor ini terdiri dari 3 jenis, yaitu: pipa rangkap (*double tube*), tabung dan gabungan pipa (*shell and coil*), tabung dan pipa (*shell and tube*). Seperti namanya kondensor pipa rangkap (*double tube*) ini terdiri dari pipa yang dibuat sedemikian rupa sehingga pipa satu ada di dalam pipa lainnya. (Gambar 2.28) Air mengalir di dalam pipa bagian dalam, sementara refrigeran berlawanan arah di antara ke dua dinding pipa luar dan pipa dalam. Di bagian luarnya udara bebas mengalir membantu mendinginkan air. Sengaja ke dua aliran itu dibuat berlawanan dengan maksud agar di capai perpindahan kalor sebesar mungkin.

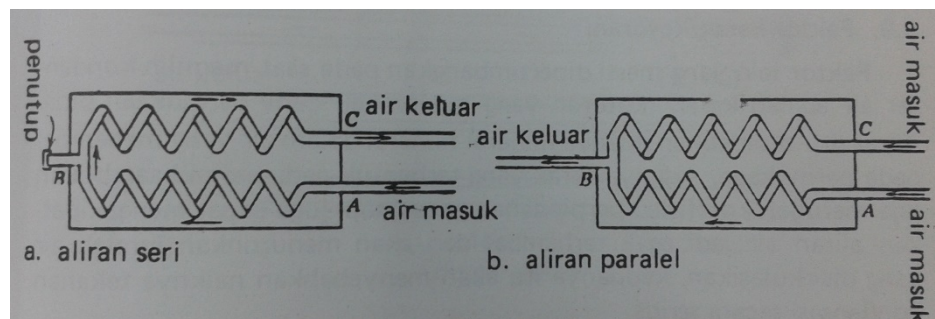


Gambar 2.28. Kondensor Berpendingin Campuran Jenis Pipa Rangkap (*Double Tube*)⁴³

Kondensor tabung dan gulungan pipa (*shell and coil*), terdiri dari satu atau lebih gulungan *bare tube* atau *finned tube* dan dimasukkan ke dalam tabung baja dan dilas. Air mengalir sepanjang pipa sedangkan refrigeran berada di dalam tabung sekeliling pipa. Uap refrigeran panas masuk dari bagian atas dan akan mengembun setelah berhubungan dengan pipa-pipa air

⁴³ *Ibid.*, hlm. 181

pendingin. Embun refrijeran itu akan menetes jatuh ke bawah tabung dan nantinya akan ditampung dalam wadah penampungan. Pada umumnya kondensor *shell and coil* dilengkapi dengan alur aliran air terpisah (*split water circuit*). Dua aliran air dihubungkan secara seri untuk saluran pembuangan (gambar 2.29a) dan secara paralel untuk sistem resirkulasi (gambar 2.29b). Secara umum kondensor jenis ini hanya dipakai pada instalasi kecil sampai kapasitas 10 ton.



Gambar 2.29. Kondensor Berpendingin Campuran Jenis Tabung dan Gabungan Pipa (*Shell and Coil*)⁴⁴

Kondensor tabung dan pipa (*shell and tube*) terdiri dari suatu tabung silinder baja dan di dalamnya terdapat sejumlah pipa-pipa lurus yang dirangkai secara paralel dan pada ujungnya dibatasi plat, sehingga terjadi ruang terbatas. Air pendingin disirkulasikan melalui pipa-pipa yang terbuat dari baja atau tembaga. Sedangkan refrijerannya ditampung pada tabung baja, diantara pipa-pipa. Air bersirkulasi di ruangan antara dinding pemisah, dinding pemisah juga berfungsi untuk mengatur aliran air. Kondensor jenis ini dipakai untuk kapasitas 2 ton sampai ratusan ton.

⁴⁴ *Ibid.*, hlm. 179

2.1.5.4. *Cooling Tower*

Cooling tower merupakan alat yang dipakai untuk mengembalikan kondisi air yang keluar dari kondensor ke kondisi semula pada saat sebelum masuk kondensor. Air panas yang keluar dari kondensor dipompakan naik ke atas *cooling tower* untuk dicurahkan lagi ke bawah dan ditampung pada kolam penampungan.⁴⁵ Pencurahan air itu dibuat terpecar-pecar, agar panas yang dikandungnya dapat diambil oleh udara. Walaupun memang terjadi perpindahan panas sensibel dari air ke udara/angin, tetapi tetap terjadi penguapan di antara butir-butir air itu, temperatur air turun tetapi sebagian uap air yang terbawa oleh angin mengalir. Kedua macam temperatur (*dry dan wet bulb*) juga *moisture* (kandungan uap air) di udara akan naik setelah melewati *tower*, jelas bahwa koefisien *cooling tower* tergantung dari temperatur *wet bulb* udara masuk. Jika temperatur *wet bulb* udara masuk lebih rendah, maka *cooling tower* itu akan jadi lebih efektif. Efisiensi sebuah *cooling tower* dipengaruhi oleh semua faktor-faktor yang menyebabkan bertambahnya air yang berubah menjadi uap air. Beberapa diantaranya adalah:

- a. Perbedaan temperatur rata-rata antara udara dan air di dalam *tower*
- b. Luasnya permukaan air yang terbuka dan lamanya permukaan itu terbuka (langsung dipengaruhi tekanan udara luar)
- c. Kecepatan udara melewati *tower*

⁴⁵ *Ibid.*, hlm. 189



Gambar 2.30. *Cooling Tower*⁴⁶

2.1.5.5. Alat Kontrol Refrijeran (Ekspansi)

Alat kontrol refrijeran atau biasa disebut sebagai alat ekspansi memiliki fungsi untuk menurunkan tekanan dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Selain itu, untuk mengatur jumlah aliran refrijeran cair yang mengalir melalui ekspansi sesuai dengan kebutuhan evaporator.⁴⁷ Posisinya berada tepat diantara sisi tekanan tinggi dan tekanan rendah. Alat ini harus memberikan kapasitas yang maksimum kepada evaporator, tetapi tidak membuat beban lebih kepada evaporator.

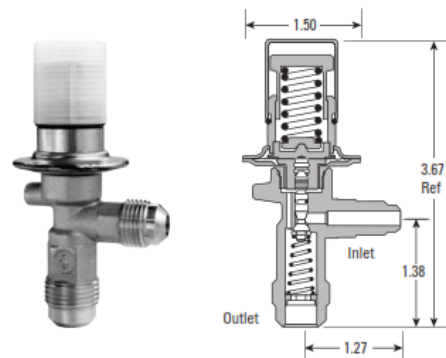
Alat kontrol/ ekspansi ini terdapat 5 jenis, yaitu:

1. Katup ekspansi otomatis (*automatic expansion valve*)

Katup ekspansi otomatis muncul setelah katup manual. Katup ini kurang begitu cocok dari segi penamaan karena katup-katup jenis lainnya pun bekerja secara otomatis, namun lebih cocok dikatakan sebagai katup ekspansi pada tekanan evaporator yang tetap, karena katup ini mempertahankan tekanan keluar yang tetap walaupun terjadi perubahan pada tekanan cairan yang masuk, beban atau kondisi lainnya.

⁴⁶ BAC, *Cooling Tower Manual Book*, Jessup: Baltimore Aircool Company, 2015, hlm. 9

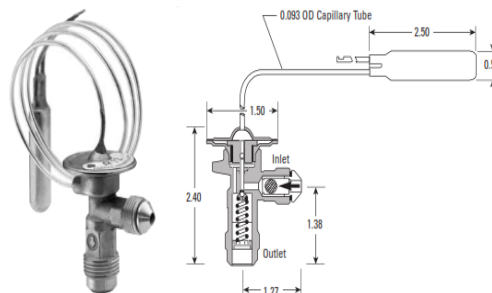
⁴⁷ Ricky Gunawan, *Op.cit.*, hlm. 203



Gambar 2.31. Katup Ekspansi Otomatis⁴⁸

2. Katup ekspansi termostatik

Jika katup ekspansi otomatis bekerja untuk mempertahankan tekanan konstan di evaporator, maka katup ekspansi termostatik adalah satu katup ekspansi yang mempertahankan besarnya panas lanjut pada uap refrijeran di akhir evaporator tetap konstan, apapun kondisi beban di evaporator. Jika beban bertambah, maka cairan refrigran di evaporator akan lebih banyak menguap, sehingga besarnya suhu panas lanjut di evaporator akan meningkat.



Gambar 2.32. Katup Ekspansi Termostatik⁴⁹

3. Pelampung pengontrol (*float control*)

Fungsi utamanya adalah mengontrol permukaan cairan dalam ruang pelampung. Jenis kontrol ini selalu digunakan pada *flooded evaporator*

⁴⁸ Parker, *Thermostatic and Automatic Expansion Valves Catalog E-1*, Broadview: Parker Hannifin Corporation, 2007, hlm. 18

⁴⁹ *Ibid.*, hlm. 5

(evaporator banjir). Bola pelampungnya bisa langsung diletakkan di dalam evaporator atau di dalam ruangan yang berbatasan dengan evaporator. Jika cara ke 2 yang dipakai, maka bagian atas dan bawah (*chamber*) harus dihubungkan dengan evaporator sehingga dengan demikian permukaan cairan akan selalu sama pada setiap saat. Jika beban evaporator naik, lebih banyak cairan yang mendidih dan menguap sehingga permukaan cairan di dalam evaporator dan ruang pelampung jadi turun. Pelampung terbawa turun juga sampai lubang laluan terbuka dan mengalirlah lebih banyak cairan dari sisi tekanan tinggi. Jika beban evaporator menurun, berarti cairan yang menguap berkurang dan posisi pelampung tetap tidak akan banyak berubah, sehingga lubang laluan refrijerasi sisi tekanan tinggi tetap tertutup. Pelampung pada sisi tekanan rendah ini dianggap sebagai salah satu alat ukur paling baik untuk sistem *flooded*. Katup ini dapat mengatur denan baik dan hampir bekerja tanpa gangguan. Jenis katup ini banyak dijumpai pada sistem *flooded* besar maupun kecil.

4. Pipa kapiler

Pipa ini diklasifikasikan sebagai katup ekspansi dan disebut juga alat kontrol refrijerasi. Ukuran diameter kapiler harus dicari dengan cara “*try and error*” pada suatu sistem dengan kapasitas tertentu. Dengan demikian jika dipakai pada sistem yang bebannya berbeda, pipa kapiler yang sudah dipilih itu tidak akan bekerja efektif lagi. Pipa kapiler sebaiknya dipakai pada suatu sistem yang bebannya relatif tetap stabil, seperti lemari es rumah tangga, *freezer*, AC kecil, dll. Keuntungan pemakaian pipa kapiler

yaitu, mudah dicari dan harganya murah. Selain itu saat mulai beroperasi kompressor dapat bekerja lebih ringan karena momen torsi yang diperlukan lebih kecil. Kerugiannya bahwa pipa kapiler tidak mampu mengatur jumlah aliran refrijeran ke dalam evaporator. Dan pipa kapiler juga tidak dapat menghentikan aliran refrijeran pada saat kompressor tidak bekerja.



Gambar 2.33. Pipa Kapiler⁵⁰

2.1.6. Chiller

Chiller atau mesin refrijerasi adalah peralatan yang biasanya menghasilkan media pendingin utama untuk bangunan gedung, dengan mengkonsumsi energi secara langsung berupa energi listrik, termal atau mekanis, untuk menghasilkan air dingin (*chilled water*) dan membuang kalor ke udara (atmosfir) melalui menara pendingin (*cooling tower*) atau kondensor. Fungsi *Chiller* dalam sistem tata udara adalah mendinginkan media air, dimana air disinggungkan pada bagian evaporator *chiller*. Air kemudian dialirkan ke AHU (*Air Handling Unit*) untuk diambil dinginnya dan dihembuskan ke ruangan. Pada *Chiller* terdapat beberapa parameter yang menunjukkan unjuk kerjanya, antara lain: suhu air masuk (*inlet*) ke evaporator

⁵⁰ Anonim, *Pipa Kapiler*, <http://www.coppercapillarytube.com/capillary-tubes.html>, diakses pada 5 Desember 2015 pukul 20.40 WIB

dan suhu air keluar (*outlet*) dari evaporator, tekanan *discharge*, serta tekanan *suction*.⁵¹ Dengan pembacaan suhu inlet dan outlet maka dapat diketahui kapasitas atau kemampuan *chiller* untuk mendinginkan air. Pembacaan tekanan *discharge* dan tekanan *suction* untuk mengetahui konsumsi refrigerator pada *chiller* tersebut dan juga untuk mengetahui apabila terjadi kekurangan atau kelebihan tekanan akibat adanya anomali tertentu.

Komponen-komponen dasar dari *water chiller system* antara lain kompressor, pendingin air (evaporator), kondenser, motor penggerak kompressor, alat pengatur aliran refrijeran dan panel kontrol. Komponen-komponen penunjang lain diantaranya adalah *receiver*, *intercooler/subcooler*, pendingin pelumas (*oil cooler*), *oil separator*, pompa oli dan alat-alat pengaman.



Gambar 2.34. *Chiller*⁵²

2.1.6.1. Jenis – Jenis *Chiller*

1. *Berdasarkan sistem pendinginan*
 - a. *Air Cooled Chiller*

⁵¹ Zachary Wade, *Prinsip Kerja Chiller*, <https://www.scribd.com/doc/118456246/chiller>, diakses tanggal 29 September 2015 pukul 10.00 WIB

⁵² York, *Model YK Engineering Guide*, Milwaukee: York International Corporation, 2015, hlm. 1

Mesin refrigerasi dengan pendinginan udara (*air cooled chiller*), pada prinsipnya hampir sama dengan *split duct AC*, tetapi dalam ukuran besar. Unit mesin ini pada umumnya berada di atas atap beton dari sebuah bangunan. Komponen utama dari 1 unit AC adalah 2 kompresor atau lebih, dengan katup ekspansi dan evaporator berada dalam unit utama, termasuk kondensornya. Evaporator mendinginkan air dan air dingin disirkulasi kesetiap tingkat melalui alat pengatur udara (*air handling unit*) atau disingkat AHU. Dari AHU dengan blower besar menyalurkan udara dingin, yang diperoleh dari hembusan melalui pipa-pipa aliran air dingin unit utama di atas, ke ruangan yang akan dikondisikan. Udara dingin yang masuk ke dalam ruangan dari AHU ini diatur dengan *diffuser* yang ada disetiap ruangan, Atau terkadang dengan pipa-pipa langsung keruangan melalui alat kipas koil (*Fan coil unit*) atau disingkat FCU. Dalam desain gedung, bila menggunakan *air cooled chiller* perlu diperhatikan lokasi dan luas atap beton untuk penempatan unit-unit *chillernya*.



Gambar 2.35. *Air Cooled Chiller*⁵³

⁵³ York, *Model YLAA Engineering Guide*, Milwaukee: York International Corporation, 2015, hlm.

b. *Water Cooled Chiller*

Perbedaan utamanya adalah pendinginan refrijerannya, bukan dengan udara, tetapi dengan air, dimana airnya didinginkan melalui menara air atau *cooling tower*. Prinsip kerja dari mesin *water chiller* ini adalah mendinginkan suatu media yang menghasilkan panas dengan cara di aliri air yang dingin, sehingga melalui air ini panas bisa diredam sesuai dengan kemampuan mesin dan temperatur yang diharapkan. *Water chiller* mulai dengan cairan dijalankan melalui kompressor, yang menyebabkan cairan untuk keluar bersama sistem perpipaan dan menyerap panas dari sumber yang dikehendaki. Hal ini kemudian pergi ke evaporator, di mana ia berubah menjadi gas dan menyebarkan panas ke atmosfer. Kemudian berjalan melalui kondensor, yang mengubah kembali menjadi cair dan mengirimkannya kembali ke kompressor. Mesin refrijerasi dengan pendinginan air, pada umumnya ditempatkan dalam lantai bawah (*basement*) suatu bangunan. Berikut ini adalah perbedaan antara *air cooled chiller* dengan *water cooled chiller*.

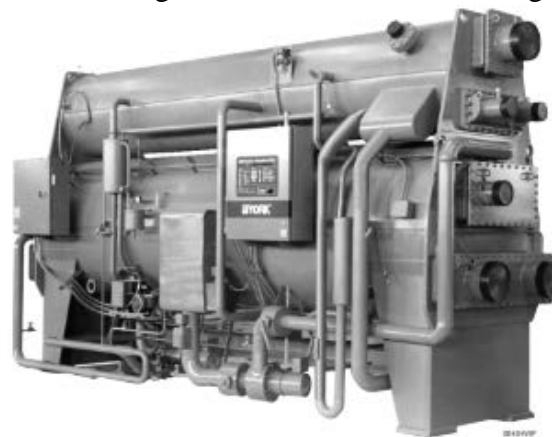
Tabel 2.2. Perbedaan *Air Cooled Chiller* dan *Water Cooled Chiller*⁵⁴

<i>Air cooled Chiller</i>	<i>Water Cooled Chiller</i>
Efisiensi rendah	Efisiensi tinggi
Waktu pemasangan cepat	Waktu pemasangan cukup lama
Biaya perawatan murah	Biaya perawatan tinggi
Ditempatkan di udara terbuka seperti, di gedung atas	Ditempatkan di dalam ruangan, seperti <i>basement</i> .

⁵⁴ Zachary Wade, *op.cit.*, hlm. 5

c. *Absorption Water Chiller*

Salah satu cara tertua untuk melakukan pendinginan suatu ruangan secara mekanis adalah teknologi absorpsi (*absorption technology*). Kelihatan tak masuk akal dengan membakar sesuatu untuk menghasilkan pendinginan, tetapi hal itu yang terjadi dalam suatu *chiller* absorpsi. Teknologi absorpsi ini sebenarnya mudah pengoperasiannya maupun pemeliharaannya, tetapi pada masa kini teknologi ini mulai hampir tidak digunakan karena tidak fleksibel penggunaannya. Refrijeran yang digunakan oleh *chiller* jenis ini adalah sebenarnya air, karena perubahan fase yang terjadi dan yang memberi dampak pendinginan adalah melalui media air. Peralatan tata udara dengan Sistem absorpsi ini sebenarnya sangat efisien dan pemeliharaannya mudah, tetapi bila ada kerusakan pada peralatan ini perbaikannya memerlukan waktu lama dan biaya yang besar. Bahkan untuk kerusakan tertentu, maka seluruh unit tidak dapat difungsikan kembali. Ini menyebabkan penggunaan peralatan pengkondisian udara dengan sistem absorpsi ini kurang



Gambar 2.36. *Absorption Water Chiller*⁵⁵

⁵⁵ York, *Model YIA Engineering Guide*, Pennsylvania: York International Corporation 2000, hlm 1

2. Berdasarkan jenis kompressornya

a. Kompresor Piston (*Reciprocating compressor*)

Water chiller dengan kompresor jenis *reciprocating* (torak) sangat luas pemakaiannya, karena mempunyai rentang yang lebar dari 20 TR sampai dengan 400 TR. Kompresor torak adalah mesin dengan perpindahan positif, gas diisap masuk ke dalam silinder dan langsung dikompresikan sehingga dapat mengalirkan volume refrijeran dengan laju yang konstan pada rentang tekanan yang lebar. Refrijeran yang umum dipakai adalah R-12 dan R-22. Ada tiga tipe kompresor torak yang umum digunakan pada *water chiller* yaitu: (1) *fully hermatic*, (2) *semi hermatic*, dan (3) *direct-drive open*.

b. Kompresor Sentrifugal (*Centrifugal compressor*)

Kompresor sentrifugal adalah tipe *non-positive displacement*, yaitu gas yang diisap masuk ke kompresor dipercepat alirannya oleh sebuah impeler yang kemudian mengubah energi kinetik untuk menaikkan tekanan. Kapasitasnya dapat diatur secara kontinu pada rentang yang lebar untuk berbagai batas tentang rasio tekanan. Karena *Centrifugal Water Chiller* dapat diatur kapasitasnya dalam rentang kondisi beban yang lebar dengan perubahan yang proporsional terhadap konsumsi daya. Oleh karena itu, *chiller* jenis ini dapat digunakan untuk pengendalian temperatur yang ketat. Dibandingkan dengan kompresor torak, pada kompresor sentrifugal sangat sedikit bantalan-bantalan poros dan

bagian-bagian permukaan yang saling bergesekan yang dapat menyebabkan keausan dan getaran.

2.1.7. Multifunction Calibration (MC5)

MC5 atau *Multifunction Calibration* merupakan suatu kalibrator multifungsi yang dirancang khusus untuk kalibrasi. Kalibrasi berkaitan dengan memahami nilai hasil pengukuran yang akurat. Alasan utama dilakukan kalibrasi karena instrumen (alat ukur) telah kehilangan kemampuannya untuk memberikan pengukuran yang akurat sehingga diperlukan kalibrasi terhadap instrumen tersebut. MC5 memiliki kemampuan dalam mengkalibrasikan sinyal tekanan, suhu, arus, hambatan, tegangan, hingga frekuensi. Sebagai anggota keluarga kalibrasi QCAL berkualitas Beamex dapat berkomunikasi dengan perangkat lunak kalibrasi QCAL⁵⁶.

MC5 juga alat kalibrator yang berdiri sendiri serta dapat dikomunikasikan dengan perangkat lunak kalibrasi MC5 yang mendukung kalibrasi dan *off-line* kalibrasi. Dalam kalibrasi yang berdiri sendiri, semua data instrumen dan hasil kalibrasi disimpan dalam memori internal MC5. Sehingga tidak perlu lagi menggunakan *database* kalibrasi *eksternal*. Dalam *off-line* kalibrasi (kadang-kadang juga disebut kalibrasi *batch*), data instrumen di-*download* dari perangkat lunak kalibrasi. Kalibrasi ini dilakukan seperti pada kalibrasi yang berdiri sendiri, tetapi prosedur kalibrasi di-*download* dari perangkat lunak serta hasilnya disimpan (di-*upload*) ke perangkat lunak kalibrasi. *Off-line* kalibrasi membutuhkan QCAL.

⁵⁶ Beamex Oy. Ab., *Multifunction Calibrator User Guide*, Finland: Beamex, 2006, hlm. 2

Alat ini membutuhkan kabel komunikasi untuk menghubungkan MC5 ke *port* serial PC.⁵⁷

Untuk sertifikasi dan pemenuhan, MC5 telah tersertifikasi sesuai dengan petunjuk EMC 89/336/EEC yaitu⁵⁸:

- a. EN 50081-1 Emisi.
- b. EN 50081-1 Kekebalan.
- c. EN 61000-3-2 Arus harmonik.
- d. EN 61000-3-3 Fluktuasi tegangan.

MC5 kalibrator adalah alat kalibrasi presisi alat yang harus digunakan oleh bekerja dengan MC5 melibatkan penggunaan instrumen tekanan, suhu dan listrik.



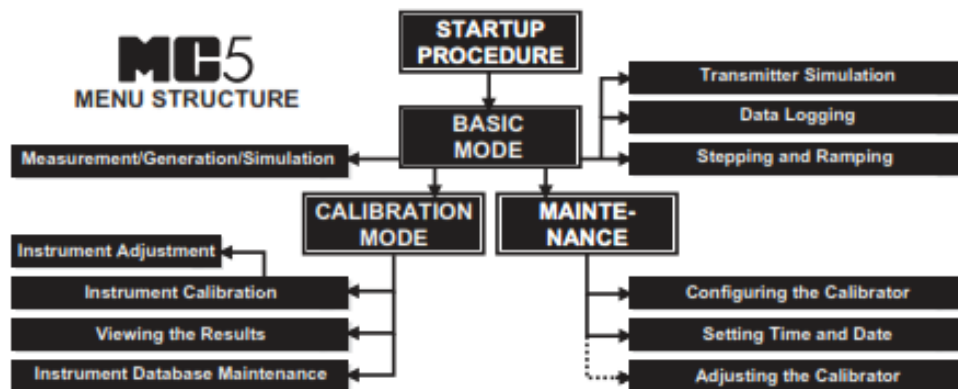
Gambar 2.37. MC5 (*Multifunction Calibration*)

Firmware MC5 disimpan dalam memori internal. Oleh karena itu, sangat mudah untuk memperbarui *firmware* setiap kali ada pembaharuan dari versi terbaru. Bagan di bawah menjelaskan bahwa semua fungsi utama dari alat kalibrasi MC5

⁵⁷ *Ibid.*, hlm. 106

⁵⁸ *Ibid.*, hlm. 26

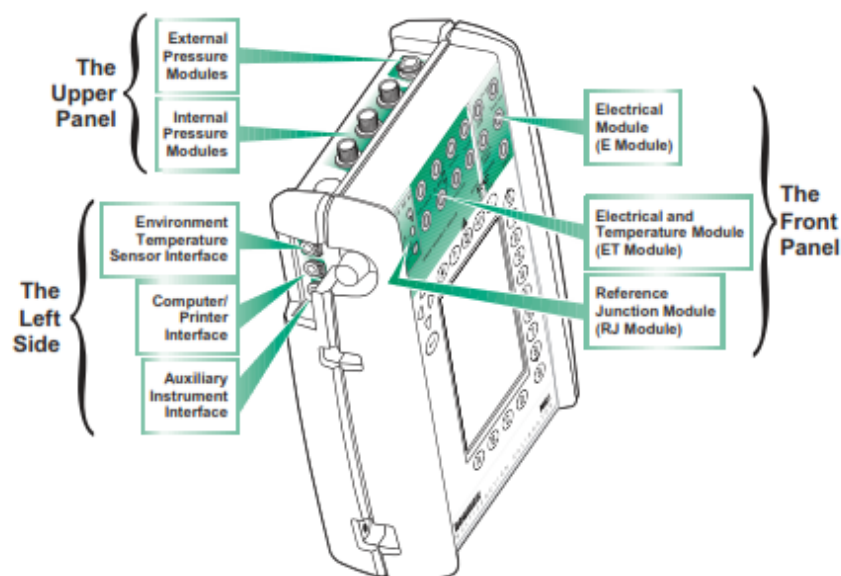
(*Multifunction Calibration*). Setiap fungsi utama memiliki beberapa tugas yang ditampilkan kotak tanpa batas hitam.



Gambar 2.38. Bagan Fungsi *Firmware*⁵⁹

2.1.7.1. Pengenalan Konektor

Pengenalan konektor sangat penting untuk diketahui. Sebab tanpa adanya pengetahuan terlebih dahulu mengenai penggunaannya akan berakibat fatal bagi alat itu sendiri. Kesalahan pengguna dalam mengkoneksikan alat dengan objek yang akan di kalibrasi dapat merusak alat. Berikut ini adalah gambar bagian konektor dari MC5 (*Multifunction Calibration*).



Gambar 2.39. Tampilan Konektor pada MC5 (*Multifunction Calibration*)⁶⁰

⁵⁹ *Ibid.*, hlm. 15

⁶⁰ *Ibid.*, hlm. 4

Penjelasan mengenai fungsi dari setiap konektor yang terdapat pada MC5 (*Multifunction Calibration*) tertera di bawah ini:

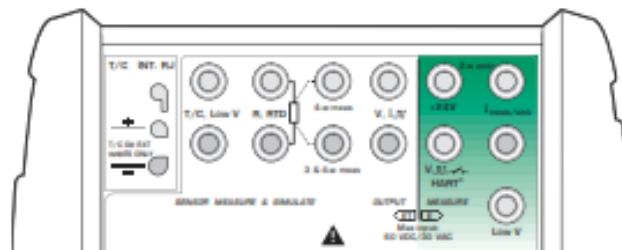
1. Konektor panel atas memiliki 5 tempat untuk koneksi yang digunakan sebagai konektor untuk kalibrasi tekanan:
 - a. Konektor tekanan eksternal, di bagian atas panel terdapat konektor untuk Modul Tekanan Eksternal (EXTs). Konektor ini terletak di sisi kanan panel atas dan ditandai dengan PX1 di stiker di panel atas.
 - b. Konektor tekanan internal, pada modul tekanan internal ditandai dengan kode P1 ... P3. Pada konektor tekanan internal terdapat Tekanan menengah yang direkomendasikan untuk semua modul tekanan internal yang adalah udara bersih. Tekanan menengah yang direkomendasikan untuk semua modul tekanan internal yang adalah udara bersih. Cairan non-korosif bersih bebas dapat digunakan dalam modul dengan rentang pengukuran dari 20 bar / 300 psi atau lebih.
2. Konektor sisi kiri memiliki 3 tempat untuk koneksi sebagai berikut:
 - a. Konektor temperatur lingkungan, konektor ini adalah untuk sensor pengukuran temperatur opsional. Sensor ini hanya dimaksudkan untuk pengukuran suhu lingkungan dan tidak boleh digunakan sebagai sensor referensi ketika kalibrasi instrumen suhu.
 - b. Konektor COMP / PRT, Konektor ini dapat digunakan saat menghubungkan ke port serial di PC. Konektor yang sama juga dapat digunakan ketika MC5 terhubung ke printer portabel

opsional. Printer dapat digunakan untuk cetakan dari layar *user interface* (misalnya kalibrasi hasil).

c. Konektor *Auxiliary*, Konektor AUX digunakan saat menghubungkan pengontrol tekanan, suhu kering untuk MC5.

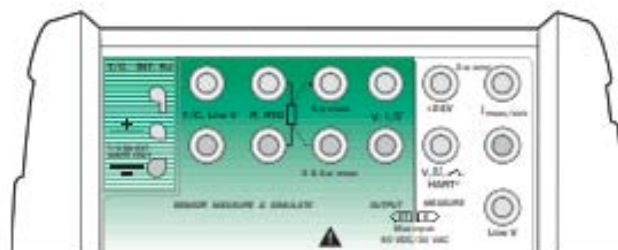
3. Konektor depan, pada bagian ini terdapat beberapa bagian diantaranya:

a. Konektor listrik (*E Module*), Modul E dapat mengukur tegangan, arus dan frekuensi. Selain itu ada kemungkinan untuk menghasilkan saat ini dan menyediakan instrumen dengan catu daya 24 VDC.



Gambar 2.40. Konektor Listrik (*E Module*)⁶¹

b. Konektor suhu dan listrik (*ET Module*), konektor suhu dan listrik dirancang khusus untuk instrumen suhu kebutuhan kalibrasi. Hal ini tidak dibatasi hanya suhu instrumen digunakan karena juga dapat menghasilkan tegangan, arus, frekuensi dan pulsa.

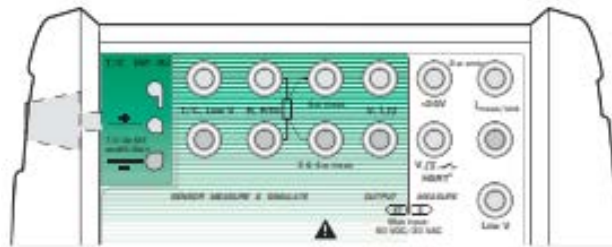


Gambar 2.41. Konektor Suhu dan Listrik (*ET Module*)⁶²

⁶¹ *Ibid.*, hlm. 7

⁶² *Ibid.*, hlm. 7

- c. Konektor T/C, dapat digunakan sebagai konektor untuk melakukan pengukuran/ simulasi kalibrasi termokopel atau instrumen yang terhubung ke termokopel. Caranya dengan membuka sekrup pada sisi kiri MC5 sebelum menghubungkan kabel ke konektor T/C. Pastikan untuk menghubungkan kabel sesuai dengan polaritas yang ditunjukkan pada petunjuk konektor pada MC5.

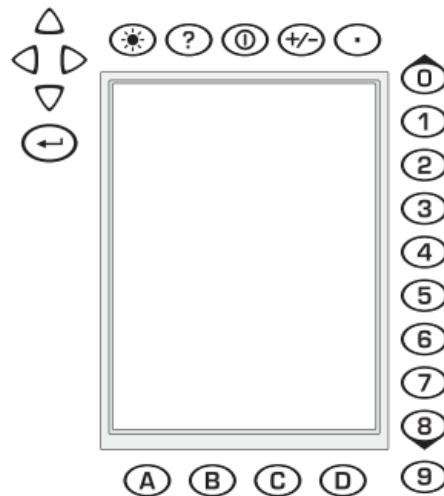


Gambar 2.42. Konektor T/C (*T/C Module*)⁶³

2.1.7.2. Pengenalan Tombol

Pengenalan ini digunakan untuk mengetahui fungsi dari setiap tombol pada MC5. Karena tombol merupakan *input* untuk melakukan pengaturan sebelum kalibrasi. Selain itu, untuk mengontrol setiap aktivitas yang tertera pada *display* MC5 juga menggunakan tombol. Selain itu, tombol juga berfungsi untuk melakukan Berikut ini adalah gambar bagian tombol dari MC5 (*Multifunction Calibration*).

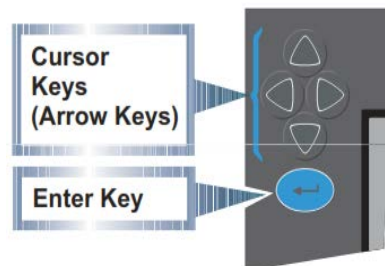
⁶³ *Ibid.*, hlm. 8



Gambar 2.43. Tampilan Tombol pada MC5 (*Multifunction Calibration*)⁶⁴

Penjelasan mengenai fungsi dari setiap tombol yang terdapat pada MC5 (*Multifunction Calibration*) tertera di bawah ini:

1. Tampilan layar / *display*, MC5 memiliki layar *transreflective backlit*. Memiliki resolusi layar sebesar 240 x 320 piksel.
2. Tombol kursor dan *enter*, tombol kursor dan *enter* terletak dekat dengan bagian atas pojok kiri layar. Tombol kursor digunakan ketika bergerak kursor di layar. Tombol ini juga memiliki beberapa fungsi khusus dalam situasi tertentu, misalnya ketika tuning kontras layar. *Enter* digunakan setelah selesai memasukkan nilai-nilai.

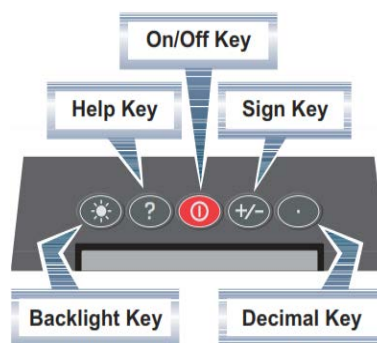


Gambar 2.44. Tombol kursor dan *Enter*⁶⁵

⁶⁴ *Ibid.*, hlm. 9

⁶⁵ *Beamex, MC5 User Guide, 2003*

3. Tombol kunci atas, terdapat beberapa tombol seperti:
 - a. Tombol cahaya layar, digunakan untuk mengatur kontras dan kecerahan layar saat mencetak screenshot. Selain itu juga dapat digunakan untuk menghidupkan dan mematikan cahaya layar.
 - b. Tombol bantuan, digunakan untuk menampilkan tombol bantuan untuk memudahkan pengguna dalam memakai MC5.
 - c. Tombol on/off, tombol ini digunakan untuk mematikan MC5 saat tidak digunakan dan menghidupkan MC5 saat hendak digunakan.
 - d. Tombol +/-, digunakan untuk menambahkan tanda negatif (-) pada nilai numerik yang di *input*.
 - e. Tombol desimal, digunakan untuk menambahkan titik desimal dengan nilai numerik saat di edit



Gambar 2.45. Tombol Kunci Atas⁶⁶

4. Tombol fungsi, terletak di bawah layar dan memiliki variasi tergantung pada situasi.



Gambar 2.46. Tombol Fungsi⁶⁷

⁶⁶ *Ibid.*, hlm. 9

⁶⁷ *Ibid.*, hlm. 10

5. Tombol Numerik, tombol ini tidak hanya digunakan untuk memasukkan nomor, Kunci 1-7 digunakan sebagai tombol menu pemilih. Tombol 0 dan 8 digunakan untuk menelusuri beberapa halaman dari menu pilihan. Tombol ini juga dapat digunakan ketika *browsing* melalui pilihan dalam daftar *pop-up*. Kunci 9 dapat digunakan ketika menerima pilihan atau ketika menyelesaikan data masuk.



Gambar 2.47. Tombol Numerik⁶⁸

⁶⁸ *Ibid.*, hlm. 10

2.2. Kerangka Berfikir

Termometer pada *chiller* memiliki peran yang sangat penting dalam pengaturan sistem tata udara di suatu gedung. Tidak hanya itu, termometer juga berfungsi untuk mengatur kinerja dari *chiller* itu sendiri. Perubahan suhu yang tidak sesuai pada *chiller* akan mengganggu kenyamanan para pekerja yang ada di dalam gedung. Hal ini disebabkan oleh hasil pengukuran yang dihasilkan pada termometer tidak sesuai dengan keluarannya. Selain mengganggu kenyamanan, perbedaan suhu yang terjadi juga bisa berdampak pada kinerja dari *chiller* itu sendiri. Beban kerja *chiller* akan lebih besar sehingga tidak hemat energi dan dapat memperpendek usia *chiller*.

Untuk menghindari kesalahan pengukuran pada alat ukur yang aplikasinya yang telah dipakai selama bertahun-tahun, perlu adanya suatu kalibrasi terhadap alat ukur termometer pada *chiller*. Kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan alat ukur termometer dengan alat standar kalibrasi MC5 (*Multifunction Calibration*) yang memiliki tingkat akurasi tinggi. Sehingga diperoleh persentase kesalahan dari termometer untuk mengetahui tingkat keakuratan setiap sampel termometer yang diteliti.

Setelah dilakukan kalibrasi termometer, di masa yang akan datang saat termometer *chiller* digunakan sehari-hari untuk melakukan pengukuran suhu di dapat hasil pengukuran yang lebih akurat dan *valid*.