

DASAR KALIBRASI PERALATAN KESEHATAN



Hotromasari Dabukke

Berkat Panjaitan

Sri Ulina

Penerbit

**Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan
Binalita Sudama Medan**

DASAR KALIBRASI PERALATAN KESEHATAN

PENGARANG:

Hotromasari Dabukke, M. Si

Berkat Panjaitan, S. Si, M. Pd

Sri Ulina, MT

Diterbitkan oleh:

Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan BINALITA SUDAMA

JL.GEDUNG PBSI NO. 1 PASAR V

MEDAN ESTATE 20371



CETAKAN PERTAMA, MARET 2020

Hak cipta di lindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya dalam bentuk dan dengan cara apa pun, baik secara mekanis maupun elektronik termasuk fotokopi, rekaman, dan lain-lain tanpa izin tertulis dari penerbit.

ISBN

KATA PENGANTAR

Peralatan kesehatan merupakan salah satu faktor penting dalam penyelenggaraan pelayanan kesehatan, baik di rumah sakit maupun di fasilitas pelayanan kesehatan lainnya. Peralatan kesehatan yang digunakan dalam pelayanan kesehatan harus dilakukan pemeliharaan preventif dan pemeliharaan korektif. Pemeliharaan preventif merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, untuk memperpanjang umur peralatan dan mencegah kegagalan fungsi peralatan kegiatan yang dilakukan yaitu kalibrasi.

Buku “Dasar Kalibrasi Peralatan Kesehatan” ini merupakan buku panduan mata kuliah Dasar Kalibrasi Peralatan Kesehatan di Program Studi Teknologi Elektro-medis.

Penyusunan buku ini bertujuan sebagai panduan dalam pembelajaran untuk mata kuliah Dasar Kalibrasi Peralatan Kesehatan. Buku ini membahas tentang peralatan Dasar Kalibrasi Peralatan Kesehatan serta parameter pengujian, ketidakpastian pengukuran dan Alat Ukur.

Melalui buku ini diharapkan pembaca menjadi lebih memahami mengenai dasar-dasar pengukuran kalibrasi peralatan kesehatan dan perhitungan ketidakpastian pengukuran. Kepada berbagai pihak yang terlibat dalam penyusunan buku ini, kami ucapkan banyak terimakasih.

Menyadari masih adanya berbagai kekurangan dalam buku ini, maka masukan/saran konstruktif sangat diharapkan dari berbagai pihak untuk penyempurnaan di masa mendatang.

Medan, Pebruari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR ISTILAH	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Pengantar Kalibrasi.....	1
1.2 Tujuan Kalibrasi.....	2
1.3 Manfaat Kalibrasi.....	3
BAB 2 KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN	4
2.1 Konsep Ketidakpastian.....	4
2.2 Sumber Ketidakpastian	5
2.3 Klasifikasi Komponen Ketidakpastian.....	6
2.4 Pemodelan Pengukuran.....	7
2.5 Identifikasi Sumber Ketidakpastian	9
2.6 Jenis Evaluasi Ketidakpastian Standar.....	12
2.7 Evaluasi Ketidakpastian Standar Tipe B.....	15
2.8 Koefisien Sensitifitas	18
2.9 Ketidakpastian Standar Kombinasi	20
2.10 Tingkat Kebebasan Efektif.....	22
2.11 Ketidakpastian yang Diperluas	24
2.12 Pelaporan Ketidakpastian.....	24
2.13 Pernyataan Kesesuaian dengan Spesifikasi	26

2.14	Ringkasan Prosedur Evaluasi.....	31
2.15	Evaluasi Kemampuan Pengukuran Terbaik.....	32
BAB 3 INSTALASI DAN PENERIMAAN ALAT MEDIS		39
3.1	Instalasi	39
3.2	Penerimaan.....	41
3.2.1	Pamitia/Pejabat Penerima	41
3.2.2	Proses Penerimaan Peralatan Medis	42
3.2.3	Masa Pemeliharaan Peralatan	45
3.2.4	Langkah-langkah Setelah Penerimaan Alat	45
BAB 4 PARAMETER PENGUJIAN ALAT KESEHATAN		47
1.	Suction Pump.....	47
2.	Anasthesia Unit	48
3.	Vaporizer.....	49
4.	Bed Side Monitor.....	49
5.	Blood Pressure Monitor	50
6.	Centrifuge	51
7.	Central Monitor.....	52
8.	Defibrilator.....	53
9.	ECG Monitor	53
10.	ECG Recorder.....	54
11.	Elektrosurgical Unit (ESU).....	55
12.	Echocardiografi.....	56
13.	ENT.....	57
14.	Holter Monitor	57

15. Hemodialisa	58
16. Infant Incubator.....	60
17. Infant Warmer.....	60
18. Infusion Pump.....	61
19. Lampu Operasi.....	62
20. Light Source (Lampu Tindakan).....	64
21. Nebulizer.....	64
22. Oxygen Therapy.....	65
23. Oxygen Concentrator	65
24. Photograpy Unit.....	66
25. Pulse Oxymeter.....	67
26. Spectrophotometer	68
27. Sphygmomanometer Air Raksa	69
28. Stirer.....	70
29. Syringe Pump.....	70
30. Treadmill.....	71
31. UST (Ultra Sound Therapy).....	72
32. Ultrasonography (USG).....	73
33. Ventilator	74
34. X-Ray Mobile	74
BAB 5 STUDI KASUS ALAT CENTRIFUGE.....	76
5.1 Pengertian Centrifuges.....	76
5.2 Standar Keamanan Alat Kesehatan Berbasis Listrik	76
5.3 Terjadi Kebocoran Arus.....	77
5.4 Prosedur Pengujian Kalibrasi Centrifuges sesuai Standar Operasional	

Kerja.....	78
5.5 Pemeriksaan Fisik dan Fungsi Alat yang Diuji/Kalibrasi	79
5.6 Perhitungan dan Analisa Ketidakpastian Pengukuran	80
5.6.1 Analisa data dan perhitungan ketidakpastian.....	80
5.6.2 Nilai ambang batas dan nilai penyimpangan (Toleransi) yang Diizinkan	83
5.6.3 Telaah Teknis.....	83
5.6.4 Daftar Alat Ukur	84
5.6.5 Pengukuran Kondisi Lingkungan	85
5.6.6 Pemeriksaan Fisik dan Fungsi Alat.....	85
5.6.7 Uji Keselamatan Listrik	87
5.6.8 Uji Akurasi Kecepatan Putar	88
5.6.9 Sumber Ketidakpastian Tipe A.....	90
5.6.10 Ketidakpastian Berulang	92
5.6.11 Sumber Ketidakpastian Tipe B	94
5.6.12 Ketidakpastian dari Drift Standar	96
5.6.13 Ketidakpastian Gabungan	97
5.6.14 Ketidakbebasan Derajat Efektif (V_{eff})	98
5.6.15 Dan Tabel T-Student nilai K diperoleh nilai 2,36.....	100
5.6.16 Ketidakpastian Bentangan	101

5.6.17 Hasil Pengukuran untuk Kalibrasi	102
5.7 Akurasi Waktu Putar	103
5.7.1 Ketidakpastian Tipe A	103
5.7.2 Menghitung Nilai Rata-rata	103
5.7.3 Ketidakpastian Tipe B.....	105
5.7.4 Ketidakpastian Drift Timer	106
5.7.5 Ketidakpastian Gabungan	106
5.7.6 Ketidakpastian Derajat Efektif (V_{eff}).....	106
5.7.7 Ketidakpastian Bentangan	107
5.7.8 Hasil Pengukuran Akurasi Waktu.....	107

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Suction Pump	47
Gambar 4.2 Anasthesia Unit	48
Gambar 4.3 Vaporizer	49
Gambar 4.4 Bed Side Monitor	50
Gambar 4.5. Blood Pressure Monitor	50
Gambar 4.6 Centrifuge	51
Gambar 4.7 Central Monitor	52
Gambar 4.8 Defibrilator	53
Gambar 4.9 ECG Monitor	54
Gambar 4.10 ECG Recorder	56
Gambar 4.11 Elektrosurgical Unit (ESU)	56
Gambar 4.12 Echocardiografi	57
Gambar 4.13 ENT	58
Gambar 4.14 Holter Monitor	59
Gambar 4.15 Hemodialisa	60
Gambar 4.16 Infant Incubator	61
Gambar 4.17 Infant Warmer	62
Gambar 4.18 Infusion Pump	62
Gambar 4.19 Lampu Operasi	63

Gambar 4.20 Light Source (Lampu Tindakan).....	64
Gambar 4.21 Nebulizer.....	65
Gambar 4.22 Oxygen Therapy.....	66
Gambar 4.23 Oxygen Concentrator.....	66
Gambar 4.24 Photograpy Unit.....	67
Gambar 4.25 Pulse Oxymeter.....	68
Gambar 4.26 Spectrophotometer.....	69
Gambar 4.27 Sphygmomanometer Air Raksa.....	70
Gambar 4.28 Stirer.....	70
Gambar 4.29 Syringe Pump.....	71
Gambar 4.30 Treadmill.....	71
Gambar 4.31 UST (Ultra Sound Therapy).....	72
Gambar 4.32 Ultrasonography (USG).....	72
Gambar 4.33 Ventilator.....	73
Gambar 4.34 X-Ray Mobile.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Nilai Toleransi Pengujian Kinerja	83
Tabel 5.2. Telaah Teknis.....	84
Tabel 5.3. Daftar Alat Ukur	84
Tabel 5.4. Pengukuran Kondisi Lingkungan	85
Tabel 5.5. Pemeriksaan Fisik dan Fungsi Alat	85
Tabel 5.6. Uji Keselamatan Listrik.....	87
Tabel 5.7. Uji Akurasi Kecepatan Putar	88
Tabel 5.8. Hasil Pengukuran Berulang	90
Tabel 5.9. Hasil Standar Deviasi.....	92
Tabel 5.10. Nilai Ketidakpastian Berulang.....	93
Tabel 5.11. Ketidakpastian dari Tachometer	95
Tabel 5.12. Ketidakpastian Gabungan	98
Tabel 5.13. Derajat Kebebasan Efektif	100
Tabel 5.14. T-Student nilai K diperoleh dari nilai 2,36.....	100
Tabel 5.15. Ketidakpastian Bentangan	102
Tabel 5.16. Hasil Akhir Pengukuran	104
Tabel 5.17. Hasil 3 kali uji coba	103
Tabel 5.18. Hasil Pengukuran Waktu	107

DAFTAR ISTILAH

1. **Alat Kesehatan** adalah instrument, apparatus, mesin, implan yang tidak mengandung obat yang digunakan untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan dan meringankan penyakit, merawat orang sakit serta memulihkan kesehatan pada manusia dan atau untuk membentuk struktur dan memperbaiki fungsi tubuh.
2. **Alat Ukur** adalah semua peralatan yang digunakan untuk mengukur, memeriksa atau memeriksa cuplikan untuk menentukan keberlakuan standar yang mampu menampilkan objek besaran, dipergunakan untuk mengetahui kebenaran suatu besaran dari bahan ukur. Alat ukur yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian atau kalibrasi alat kesehatan, berupa alat ukur besaran dasar maupun alat ukur besaran turunan.
3. **Besaran Standar** adalah alat atau bahan memiliki besaran tertentu dan nilainya diketahui, sehingga dapat dipergunakan sebagai bahan pembanding terhadap besaran sejenis yang diukur pada objek ukur. Besaran standar yang dipergunakan dalam pelaksanaan pengujian atau kalibrasi alat kesehatan berupa besaran dasar maupun besaran turunan.
4. **Pengukuran** adalah serangkaian yang bertujuan menentukan nilai suatu besaran.
5. **Ketidakpastian pengukuran** adalah suatu rentang nilai yang digabungkan dengan hasil pengukuran yang terdapat nilai besaran ukur yang dicari.
6. **Institusi Penguji** adalah sarana kesehatan atau sarana lainnya yang mempunyai tugas dan fungsi untuk melakukan pengujian dan kalibrasi alat kesehatan.
7. **Institusi Penguji rujukan** adalah institusi penguji yang mempunyai tugas dan fungsi untuk melakukan dan kalibrasi, alat ukur dan besaran standar serta pengujian atau kalibrasi alat kesehatan.

8. **Kalibrasi** adalah kegiatan peneraan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat ukur dan atau bahan ukur.
9. **Kemampuan Telusur** adalah kemampuan untuk menghubungkan hasil alat – alat ukur tertentu dengan hasil pengukuran pada standar nasional atau secara nasional diterima sebagai sistem pengukuran melalui suatu mata rantai tertentu.
10. **Ketelitian (precision)** adalah kemampuan proses pengukuran untuk menunjukkan hasil yang sama dan pengukuran dilakukan secara berulang – ulang.
11. **Laboratorium Kalibrasi** adalah unit kerja yang melaksanakan kegiatan teknis kalibrasi alat kesehatan pada institusi penguji alat kesehatan.
12. **Lulus Kalibrasi** adalah kondisi besaran pada alat kesehatan sesuai dengan besaran sebenarnya dan laik dipergunakan dalam pelayanan kesehatan.
13. **Lulus Uji** adalah kondisi alat kesehatan yang memenuhi spesifikasi dan laik dipergunakan dalam pelayanan kesehatan.
14. **Pengujian** adalah keseluruhan tindakan yang meliputi pemeriksaan fisik dan pengukuran untuk membandingkan alat ukur dengan standar untuk satuan ukuran yang sesuai guna menetapkan sifat ukurnya (sifat metrologik) atau menentukan besaran atau kesalahan pengukuran.
15. **Pengukuran** adalah kegiatan atau proses mengaitkan angka secara empirik dan obyektif pada sifat – sifat obyek atau kejadian nyata sedemikian rupa, sehingga angka tadi dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai obyek atau kejadian tersebut.
16. **Sarana Pelayanan Kesehatan** adalah institusi yang melaksanakan pelayanan kesehatan kepada masyarakat baik dasar, penunjang maupun rujukan.

17. **Sertifikat Kalibrasi** adalah sertifikat yang dikeluarkan oleh institusi penguji terhadap alat yang lulus kalibrasi.
18. **Sertifikat Pengujian** adalah sertifikat yang dikeluarkan oleh institusi penguji terhadap alat yang lulus uji.
19. **Sertifikat Internasional** adalah suatu standar yang ditetapkan oleh suatu persetujuan internasional sebagai dasar untuk menetapkan harga atau suatu harga besaran bagi semua standar lain dari besaran yang ada.
20. **Standar Nasional** adalah suatu standar yang ditetapkan oleh peraturan pemerintah sebagai dasar untuk menetapkan harga atau besaran dalam suatu negara untuk semua standar lain dari besaran yang ada.
21. **Tanda laik pakai** adalah tanda yang ditempelkan pada:
 - Alat kesehatan untuk menyatakan lulus uji atau lulus kalibrasi
 - Alat ukur atau besaran standar untuk menyatakan lulus kalibrasi
22. **Tanda tidak laik pakai** adalah tanda yang ditempelkan pada:
 - Alat kesehatan untuk menyatakan tidak lulus uji atau tidak lulus kalibrasi
 - Alat ukur besaran standar untuk menyatakan tidak lulus kalibrasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengantar Kalibrasi

Peralatan kesehatan merupakan salah satu faktor penting dalam penyelenggaraan pelayanan kesehatan, baik di rumah sakit maupun di fasilitas pelayanan kesehatan lainnya. Guna mencapai kondisi maupun fungsi peralatan kesehatan yang baik serta dapat mendukung pelayanan kesehatan maka perlu adanya pengelolaan peralatan kesehatan yang terpadu.

Alat Kesehatan adalah instrumen, aparatus, mesin, perkakas, dan/atau implan, reagen in vitro dan kalibratornya, perangkat lunak, bahan atau material yang digunakan tunggal atau kombinasi, untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan, dan meringankan penyakit, merawat orang sakit, memulihkan kesehatan pada manusia, dan/atau membentuk struktur dan memperbaiki fungsi tubuh, menghalangi pembuahan, desinfeksi alat kesehatan, dan pengujian in vitro terhadap spesimen dari tubuh manusia, dan dapat mengandung obat yang tidak mencapai kerja utama pada tubuh manusia melalui proses farmakologi, imunologi atau metabolisme untuk dapat membantu fungsi/kinerja yang diinginkan.

Peralatan kesehatan yang digunakan dalam pelayanan kesehatan harus dilakukan pemeliharaan preventif dan pemeliharaan korektif. Pemeliharaan preventif merupakan kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, untuk memperpanjang umur peralatan dan mencegah kegagalan fungsi peralatan kegiatan yang dilakukan yaitu kalibrasi, penggantian bagian, pelumasan, pembersihan. Pemeliharaan Korektif

(CM) merupakan kegiatan perbaikan terhadap peralatan dengan tujuan mengembalikan fungsi peralatan sesuai dengan kondisi awalnya. Pemeliharaan korektif biasanya tidak terjadwal seperti kegagalan fungsi peralatan dan dilakukan perbaikan, permintaan dari pengguna peralatan atau dari personel yang melakukan kegiatan performing maintenance.

Kegiatan Pemeliharaan preventif salah satunya yaitu kalibrasi. Kalibrasi peralatan dilakukan dalam jangka waktu satu (1) tahun sekali atau sesudah dilakukan perbaikan pada alat. Kalibrasi dituangkan di Permenkes *No. 54 Tahun 2015* tentang Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan. Kalibrasi adalah kegiatan peneraan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukkan alat ukur dan/atau bahan ukur. Kalibrasi alat kesehatan bertujuan untuk menjaga kondisi alat kesehatan agar tetap sesuai dengan supplier besaran pada spesifikasinya. Dengan adanya kalibrasi maka akurasi, ketelitian dan keamanan alat kesehatan dapat dijamin sesuai besaran besaran yang tertera/diabadikan pada alat kesehatan yang bersangkutan. Sedangkan manfaat yang dapat diperoleh dari kegiatan pengujian dan kalibrasi adalah kondisi alat ukur dan bahan ukur tetap terjaga sesuai dengan spesifikasinya.

1.2 Tujuan Kalibrasi

Tujuan kalibrasi peralatan kesehatan adalah untuk mencapai ketertelusuran pengukuran. Hasil pengukuran dapat dikaitkan/ditelusur sampai ke standar yang lebih tinggi/teliti (standar primer nasional dan / internasional), melalui rangkaian perbandingan yang tak terputus dan Menentukan deviasi (penyimpangan) kebenaran nilai konvensional penunjukan suatu instrument ukur.

1.3 Manfaat Kalibrasi

Adapun manfaat kalibrasi untuk menjaga kondisi instrumen ukur dan bahan ukur agar tetap sesuai dengan spesefikasinya. Untuk mendukung sistem mutu yang diterapkan di berbagai rumah sakit pada peralatan laboratorium dan bisa mengetahui perbedaan (penyimpangan) antara harga benar dengan harga yang ditunjukkan oleh alat ukur.

BAB 2

KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN

2.1 Konsep Ketidakpastian

Tujuan suatu pengukuran adalah untuk menentukan nilai besaran ukur yang meliputi spesifikasi besaran ukur, cara pengukuran dan prosedur pengukuran. Ketidakpastian hasil pengukuran mencerminkan kurangnya pengetahuan pasti tentang nilai besaran ukur. Hasil pengukuran setelah koreksi untuk efek sistematik yang diketahui masih merupakan perkiraan nilai besaran ukur karena ketidakpastian yang timbul dari efek acak dan dari koreksi efek sistematik yang tidak sempurna. Pada umumnya hasil suatu pengukuran hanyalah perkiraan atau perkiraan nilai besaran ukur, oleh karena itu hasilnya baru lengkap bila disertai dengan pernyataan ketidakpastian pendugaan tersebut.

Ketidakpastian adalah ukuran dispersi yang secara wajar dapat dikaitkan dengan nilai terukur. Ini memberikan rentang, berpusat pada nilai terukur, di mana, pada probabilitas yang dinyatakan, terletak nilai sebenarnya. Konsep ketidakpastian didasarkan pada besaran yang dapat diamati yang diperoleh melalui pengukuran; ini berbeda dengan konsep kesalahan yang ideal berdasarkan besaran yang tidak dapat diketahui. Secara tradisional, kesalahan hasil pengukuran dianggap memiliki dua komponen, yaitu komponen acak dan komponen sistematik. Kesalahan acak mungkin muncul dari variasi temporal dan spasial yang tidak dapat diprediksi atau stokastik dari kuantitas pengaruh. Kesalahan sistematis muncul dari efek yang diakui dari

kuantitas pengaruh hasil pengukuran. Perbedaan antara kesalahan dan ketidakpastian harus selalu diingat. Misalnya, hasil pengukuran setelah koreksi dapat diketahui sangat dekat dengan nilai besaran ukur yang tidak diketahui, dan dengan demikian memiliki kesalahan yang dapat diabaikan, meskipun mungkin memiliki ketidakpastian yang besar.

2.2 Sumber Ketidakpastian

Dalam praktiknya ada banyak kemungkinan sumber ketidakpastian pengukuran, termasuk:

1. Definisi besaran yang tidak lengkap :
2. Realisasi yang tidak sempurna dari definisi besaran ukur
3. Pengambilan sampel - sampel yang diukur mungkin tidak mewakili besaran ukur yang ditentukan
4. Pengetahuan yang tidak memadai tentang pengaruh kondisi lingkungan pada proses pengukuran atau pengukuran kondisi lingkungan yang tidak sempurna
5. Bias pribadi dalam membaca instrumen analog
6. Resolusi instrumen atau ambang batas diskriminasi
7. Nilai yang ditetapkan untuk standar pengukuran dan bahan referensi
8. Nilai konstanta dan parameter lain yang diperoleh dari sumber eksternal dan digunakan dalam algoritma reduksi data
9. Perkiraan dan asumsi yang tergabung dalam metode dan prosedur pengukuran
10. Variasi dalam pengamatan berulang dari besaran ukur di bawah kondisi yang tampaknya identik kondisi

Selain sumber ketidakpastian umum tersebut, sumber ketidakpastian spesifik dalam pengujian dapat mencakup, tetapi tidak terbatas pada:

1. Pengambilan sampel non-representatif
2. Sifat sampel yang tidak homogen
3. Kontaminasi selama pengambilan sampel dan persiapan sampel
4. Kemurnian reagen dan pelarut
5. Efek matriks dan interferensi
6. Koreksi kosong

2.3 Klasifikasi Komponen Ketidakpastian

Umumnya, ketidakpastian pengukuran terdiri dari beberapa komponen yang dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori sesuai dengan metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai numeriknya:

1. Tipe A: dievaluasi dengan menggunakan metode statistic baku; dari sehimpunan hasil pengukuran (berdasarkan data)
2. Tipe B: dievaluasi dengan cara selain analisis statistic; diestimasi berdasar asumsi tertentu (teoritis)

Klasifikasi komponen ketidakpastian menjadi tipe A dan tipe B tidak selalu memiliki korespondensi sederhana dengan klasifikasi komponen ketidakpastian yang umum digunakan sebagai "acak" dan "sistematis". Sifat komponen ketidakpastian dikondisikan oleh penggunaan besaran yang sesuai, yaitu, pada bagaimana besaran itu muncul dalam model matematika yang menggambarkan proses pengukuran. Ketika kuantitas yang sesuai digunakan dengan cara yang berbeda, komponen "acak" dapat menjadi komponen "sistematis" dan sebaliknya. Jadi istilah "ketidakpastian acak" dan "ketidakpastian

sistematis" dapat menyesatkan bila diterapkan secara umum. Nomenklatur alternatif yang dapat digunakan adalah:

- "komponen ketidakpastian yang timbul dari efek acak,"
- "Komponen ketidakpastian yang timbul dari efek sistematis."

Efek acak adalah salah satu yang menimbulkan kemungkinan kesalahan acak dalam proses pengukuran saat ini dan efek sistematis adalah salah satu yang menimbulkan kemungkinan kesalahan sistematis dalam proses pengukuran saat ini.

Dalam pengukuran praktis, komponen ketidakpastian yang timbul dari efek sistematis dalam beberapa kasus dapat dievaluasi oleh evaluasi tipe A sementara dalam kasus lain dengan evaluasi tipe B, seperti komponen ketidakpastian yang timbul dari efek acak.

2.4 Pemodelan Pengukuran

Sehubungan dengan evaluasi ketidakpastian pengukuran, model pengukuran memerlukan pernyataan yang jelas tentang besaran terukur, dan ekspresi kuantitatif menunjukkan hubungan antara nilai besaran dan parameter independensi di mana besaran ukur bergantung. Parameter-parameter tersebut dapat berupa besaran-besaran lain, besaran-besaran yang tidak diukur secara langsung atau suatu konstanta. Fungsi yang menghubungkan besaran ukur dan besaran masukan disebut sebagai model pengukuran.

Dalam sebagian besar proses pengukuran, besaran Y ditentukan dari N lainnya besaran-besaran yaitu X_1, X_2, \dots, X_n melalui hubungan fungsional:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Besaran-besaran masukan X_1, X_2, \dots, X_n di mana besaran besaran Y dapat dipandang sebagai besaran-besaran lain dan mungkin sendiri bergantung pada besaran-besaran lain, termasuk koreksi dan faktor koreksi untuk efek sistematik yang dikenali, sehingga mengarah pada hubungan fungsional yang rumit f yang mungkin tidak pernah ditulis secara eksplisit.

Besaran input X_1, X_2, \dots, X_n mungkin memiliki nilai dan ketidakpastian yang langsung ditentukan dalam proses pengukuran saat ini (seperti dari pengamatan tunggal, pengamatan berulang, penentuan koreksi terhadap pembacaan instrumen dan koreksi dari besaran pengaruh) atau diperoleh dari sumber eksternal (seperti jumlah yang terkait dengan standar pengukuran yang dikalibrasi, bahan referensi bersertifikat, dan data referensi dari buku pegangan

Estimasi besaran Y , dilambangkan dengan y , diperoleh dari persamaan (1) menggunakan estimasi besaran input X_1, X_2, \dots, X_n , untuk nilai N besaran X_1, X_2, \dots, X_n oleh karena itu taksiran besaran y , yang merupakan hasil atau proses pengukuran, diberikan oleh:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

Dimana diasumsikan bahwa setiap estimasi input telah dikoreksi untuk semua efek sistematis yang diakui yang signifikan untuk estimasi output.

Standar deviasi yang diperkirakan terkait dengan estimasi output, disebut sebagai ketidakpastian standar gabungan (dilambangkan sebagai $U_c(y)$) diperoleh dengan menggabungkan secara tepat estimasi standar deviasi dari setiap estimasi input x_i yang disebut sebagai ketidakpastian standar (dilambangkan sebagai $U(x_i)$)

Setiap ketidakpastian standar $U(x_i)$ diperoleh baik dari evaluasi tipe A atau tipe B.

2.5 Identifikasi Sumber Ketidakpastian

Ketika proses pengukuran telah dinyatakan dalam model matematika, sumber ketidakpastian yang terkait dengan proses pengukuran harus diidentifikasi dengan baik untuk menghindari nilai ketidakpastian yang terlalu tinggi atau terlalu rendah. Untuk membantu proses identifikasi, terutama untuk pengukuran yang melibatkan banyak masukan dan besaran pengaruh, penggunaan diagram sebab akibat mungkin dapat menyederhanakan proses tersebut.

Prosedur berikut dapat digunakan sebagai panduan untuk membuat diagram sebab akibat:

1. Tuliskan persamaan lengkap yang mewakili proses pengukuran berdasarkan hasil pemodelan pengukuran. Parameter yang ditunjukkan dalam persamaan membangun cabang utama diagram.
contoh:

Pengukuran densitas cairan berdasarkan metode penimbangan:

Model matematika:

$$\rho = (M_{\text{isi}} - M_{\text{kosong}}) / V$$

dimana:

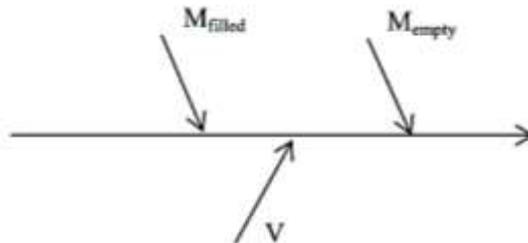
ρ adalah massa jenis cairan

M_{isi} adalah massa (labu ukur + cairan) yang diperoleh dari pembacaan neraca

M_{kosong} adalah massa labu ukur berdasarkan pembacaan neraca

V adalah volume labu ukur

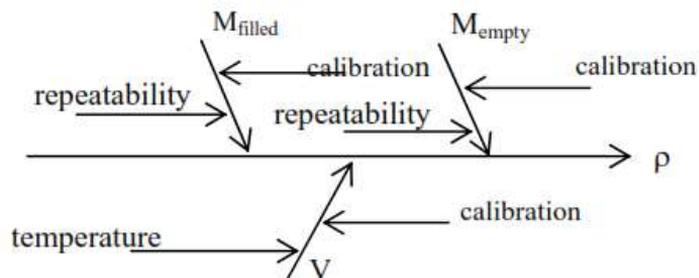
2. Perhatikan setiap langkah dalam metode dan tambahkan faktor lain ke dalam diagram, yang membentuk cabang dari cabang utama diagram.



Dalam proses pengukuran densitas cairan digunakan timbangan terkalibrasi dan labu takar terkalibrasi. Pengukuran diulang n kali. Dalam proses ini kontribusi ketidakpastian berikut harus dipertimbangkan:

- keseimbangan kalibrasi
- pengulangan penimbangan
- kalibrasi labu volumetrik
- pengulangan efek pengukuran
- volume suhu terhadap kapasitas labu volumetrik

Dengan menambahkan faktor-faktor di atas dalam diagram, kita mendapatkan:



Untuk setiap cabang, tambahkan faktor lain yang memberikan kontribusi sampai semua signifikan faktor yang termasuk dalam diagram.

Berdasarkan sumber ketidakpastian yang diidentifikasi pada poin (2), maka kita harus mempertimbangkan mengikuti:

1. sertifikat keseimbangan kalibrasi:

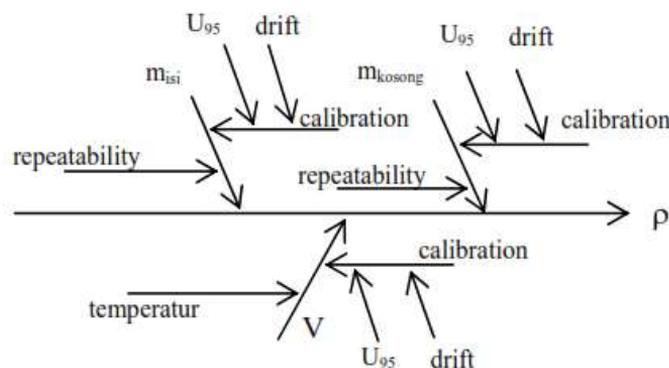
Ketidakpastian yang diperluas yang terkandung dalam sertifikat Penyimpangan indikasi saldo berdasarkan data historis

2. sertifikat kalibrasi labu takar

Ketidakpastian yang diperluas yang terkandung dalam sertifikat Drift labu takar berdasarkan data historis

3. pengukuran suhu lingkungan

Ketidakpastian yang diperluas yang terkandung dalam sertifikat kalibrasi termometer Distribusi suhu sekitar berdasarkan hasil pemantauan



Setelah proses identifikasi selesai, langkah selanjutnya adalah mengklasifikasikan komponen ketidakpastian untuk menentukan metode evaluasi.

2.6 Jenis Evaluasi Ketidakpastian Standar

Ketika pengukuran diulang beberapa kali, nilai rata-rata dan simpangan baku dapat dihitung. Standar deviasi menggambarkan dispersi yang berlaku untuk seluruh populasi nilai terukur yang mungkin.

Dalam kebanyakan kasus, estimasi terbaik yang tersedia dari ekspektasi atau nilai ekspektasi dari kuantitas yang bervariasi secara acak, dan yang memiliki n pengamatan berulang yang independen diperoleh di bawah kondisi pengukuran yang sama, adalah rata-rata aritmatika atau rata-rata dari n pengamatan

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Standar deviasi adalah perkiraan dispersi populasi dari mana nilai n diambil

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Setelah mengambil satu set n pengukuran berulang, kami mengambil set kedua dari n pengukuran dan kami dapat menghitung lagi rata-ratanya. Kemungkinan besar akan sedikit berbeda dari mean pertama. Estimasi penyebaran mean populasi dapat dihitung sebagai standar deviasi eksperimental mean (ESDM)

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

Ketidakpastian standar tipe A u (x) untuk besaran yang ditentukan dari n bebas pengamatan berulang adalah ESDM:

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

Kadang-kadang kita perlu mengetahui jumlah derajat kebebasan, untuk satu set n pengukuran yang kita peroleh rata-ratanya, derajat kebebasannya adalah:

$$V = n - 1$$

Untuk pengukuran yang dicirikan dengan baik di bawah kendali statistik, deviasi standar eksperimental gabungan S_p , dengan derajat kebebasan v_p , berdasarkan seri pengamatan M dari variabel yang sama mungkin tersedia. Simpangan baku eksperimen gabungan ditentukan menjadi:

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^M V_i S_i^2}{\sum_{i=1}^M V_i}}$$

$$v_p = \sum_{i=1}^M v_i$$

Di mana s adalah simpangan baku eksperimental dari satu deret m, pengamatan berulang yang independen, dan memiliki derajat kebebasan:

$$V_i = m_i - 1$$

Jika hasil pengukuran variabel yang sama ditentukan dari n bebas pengamatan, ketidakpastian standar tipe A u dapat diperkirakan dengan:

$$u(x_1) = \frac{S_p}{\sqrt{n}}$$

Ada banyak metode untuk menentukan ketidakpastian standar tipe A, perhitungan yang paling umum adalah ESDM, evaluasi tipe yang paling umum berikutnya adalah penentuan ketidakpastian standar dari kurva yang dipasang.

Misalnya kita ingin memasukkan garis lurus ke beberapa data, garis lurus adalah dijelaskan oleh persamaan:

$$y = a + bx$$

Perbedaan antara titik data aktual dan nilai yang sesuai dihitung dari persamaan untuk kurva disebut residual. Dalam proses pemasangan kurva niat adalah untuk menemukan nilai a dan b sedemikian rupa sehingga jumlah kuadrat residu (SSR) adalah diminimalkan.

$$SSR = \sum (y_i - a - bx_i)^2$$

Penyebaran titik-titik data di sekitar kurva yang dipasang dapat digambarkan dengan perkiraan standar deviasi, sering disebut sebagai kesalahan standar dari nilai y yang dihitung. menggunakan kurva, yang dihitung dengan:

$$s = \sqrt{\frac{SSR}{v}}$$

Di mana v adalah jumlah derajat kebebasan, yang dapat dihitung dengan:

v = jumlah titik data- jumlah koefisien yang dipasang

v = jumlah titik data-2 untuk garis lurus

Seperti halnya rata-rata pengamatan berulang, untuk kurva, ketidakpastian standar terkait diperoleh dari perkiraan simpangan baku.

$$U = S$$

Proses pemasangan kurva tidak terbatas pada garis lurus, umumnya kurva yang dipasang dapat dinyatakan sebagai:

$$y = f(x)$$

Meskipun perhitungan koefisien kurva pas dan mengevaluasi ketidakpastiannya tampak sulit, banyak paket perangkat lunak komersial telah memiliki fungsi bawaan untuk perhitungan penyesuaian kurva (regresi).

2.7 Evaluasi Ketidakpastian Standar Tipe B

Evaluasi ketidakpastian standar tipe B diperoleh dengan cara selain analisis statistik dari serangkaian pengamatan yang biasanya didasarkan pada penilaian ilmiah dengan menggunakan semua informasi relevan yang tersedia, yang dapat mencakup:

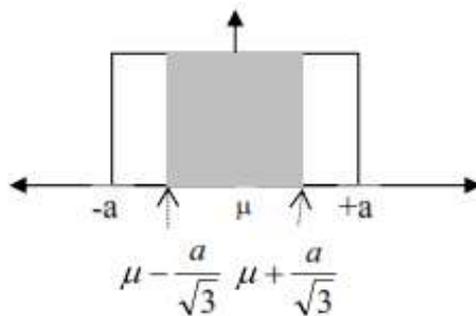
1. Data pengukuran sebelumnya
2. Pengalaman dengan, atau pengetahuan umum tentang perilaku dan properti yang relevan
3. Spesifikasi pabrikan
4. Data disediakan dalam kalibrasi dan laporan lainnya
5. Ketidakpastian yang ditetapkan untuk data referensi yang diambil dari buku data

Contoh paling sederhana dari evaluasi tipe B adalah penggunaan ketidakpastian yang dilaporkan dalam sertifikat standar. Untuk mendapatkan ketidakpastian standar, ketidakpastian yang diperluas pada sertifikat dibagi dengan faktor cakupan yang diberikan pada sertifikat. Dengan tidak adanya nilai untuk faktor cakupan, faktor 2 dapat digunakan jika ketidakpastian yang diperluas memiliki tingkat kepercayaan 95%.

Dalam kasus lain ketidakpastian diberikan sebagai batas yang ditentukan, a , distribusi probabilitas dapat diperkirakan dari informasi yang tersedia, yang dapat mengambil salah satu dari distribusi berikut:

1. Distribusi Probabilitas Persegi Panjang

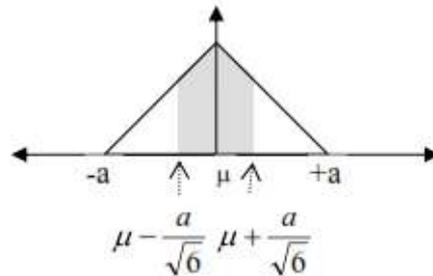
Digunakan jika batas dapat ditentukan, tetapi nilai besaran ukur kemungkinan berada di mana saja dalam rentang tersebut. Ketidakpastian standar diperoleh dengan membagi semi-rentang 'a' dengan $\sqrt{3}$, i.e. $u = a / \sqrt{3}$



2. Distribusi Probabilitas Segitiga

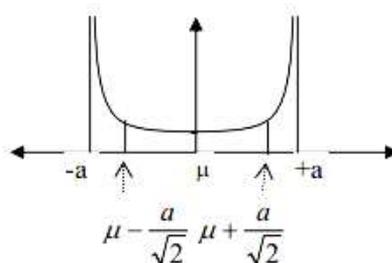
ketika ada bukti bahwa nilai yang mendekati rata-rata adalah nilai yang paling mungkin, karena batasnya berkurang,

peluangnya berkurang menjadi nol. Ketidakpastian standar diperoleh dengan membagi semi-rentang 'a' dengan $\sqrt{6}$, i.e. $u = a/\sqrt{6}$



3. Distribusi Probabilitas Bentuk-U

Distribusi ini terjadi di beberapa wilayah metrologi. Contohnya adalah distribusi untuk ketidakpastian yang timbul dari refleksi konektor frekuensi radio. Ini juga dapat diterapkan untuk variasi suhu udara di mana kontrol suhu menghasilkan perjalanan suhu yang teratur antara batas. Ketidakpastian standar diperoleh dengan membagi semi-range 'a' dengan $\sqrt{2}$, i.e. $u = a/\sqrt{2}$



4. Distribusi Gaussian atau Normal

Bentuk distribusi ini dapat diasumsikan untuk ketidakpastian yang mendefinisikan selangkepercayaan dengan memberikan tingkat kepercayaan katakanlah 95% atau 99%. Ketidakpastian standar diperoleh dengan membagi ketidakpastian kuotasi

dengan faktor cakupan yang sesuai berdasarkan tabel distribusi-t, yaitu $u = U / k$; di mana U adalah ketidakpastian yang diperluas untuk tingkat kepercayaan tertentu dan k adalah faktor cakupan.

$$\mu - \frac{AS}{k} \quad \mu + \frac{AS}{k}$$

Untuk evaluasi ketidakpastian standar tipe B, distribusi persegi panjang adalah model standar yang masuk akal tanpa adanya informasi lain. Tetapi jika diketahui bahwa nilai besaran yang dipersoalkan di dekat pusat batas, distribusi segitiga atau normal mungkin merupakan model yang lebih baik.

Ketidakpastian standar tipe B diperoleh dari distribusi probabilitas apriori. Sederhananya diasumsikan bahwa distribusi probabilitas diketahui dengan tepat. Dalam kebanyakan kasus, kita dapat mengasumsikan bahwa derajat kebebasan untuk ketidakpastian baku seperti tak terhingga. Ini adalah asumsi yang masuk akal karena dalam praktiknya adalah umum untuk memilih ketidakpastian tipe B bahwa probabilitas kuantitas yang bersangkutan berada di luar pita ketidakpastian sangatlah kecil

2.8 Koefisien Sensitivitas

Koefisien sensitivitas merupakan salah satu aspek dalam mengevaluasi ketidakpastian pengukuran yang menyebabkan kesulitan. Koefisien sensitivitas mengubah semua komponen ketidakpastian menjadi

satuan yang sama dengan besaran ukur. Ini adalah prasyarat yang diperlukan untuk menggabungkan komponen ketidakpastian yang memiliki unit yang berbeda.

Koefisien sensitivitas juga memberikan penskalaan fungsi penimbangan untuk setiap ketidakpastian komponen, yang menggambarkan bagaimana perkiraan keluaran bervariasi dengan perubahan nilai perkiraan masukan

Evaluasi koefisien sensitivitas dapat dilakukan berdasarkan diferensiasi parsial suatu fungsi yang mewakili model matematis suatu pengukuran.

$$c_i = \partial f / \partial x_i$$

Koefisien sensitivitas kadang-kadang ditentukan secara eksperimental, dengan memvariasikan kuantitas input sambil mempertahankan kuantitas input yang tersisa konstan.

Koefisien sensitivitas kadang-kadang dapat ditentukan secara eksperimental dengan memvariasikan kuantitas input yang ditentukan dan menjaga kuantitas input lain tetap konstan.

Jika $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$ dan ketidakpastian setiap besaran masukan yang dinyatakan sebagai $u(x_i)$, kontribusi besaran masukan $u_i(y)$ terhadap ketidakpastian besaran $u_c(y)$ juga dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$u_1(y) = c_1 u(x_1) = f(x_1 + u(x_1), x_2, x_3, \dots) - f(x_1, x_2, x_3, \dots)$$

$$u_2(y) = c_2 u(x_2) = f(x_1, x_2 + u(x_2), x_3, \dots) - f(x_1, x_2, x_3, \dots)$$

Saat ini sudah banyak perangkat lunak yang dibangun dalam fungsi matematika, hal ini membuat perhitungan kontribusi ketidakpastian dengan menggunakan persamaan di atas dapat lebih mudah daripada mengevaluasi diferensiasi parsial dari besaran ukur untuk setiap besaran masukan.

2.9 Ketidakpastian Standar Kombinasi

Ketidakpastian standar gabungan dari suatu pengukuran, dilambangkan dengan $u(y)$, diambil untuk mewakili estimasi standar deviasi dari hasil. Hal ini diperoleh dengan menggabungkan ketidakpastian standar individu dari estimasi input berdasarkan aproksimasi deret Taylor orde pertama dari model pengukuran. Metode untuk menggabungkan ketidakpastian standar sering disebut hukum perambatan ketidakpastian.

Untuk kuantitas input yang tidak berkorelasi, ketidakpastian standar gabungan estimasi input y

dapat ditulis sebagai :

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n [u_i(y)]^2}$$

Dimana:

$c_i = \partial f / \partial x_i$, dan $c_i u(x_i) = u_i(y)$

Dalam proses pengukuran, ada beberapa kesempatan di mana dua atau lebih besaran input saling bergantung. Ekspresi yang tepat untuk ketidakpastian standar gabungan yang terkait dengan hasil pengukuran adalah:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [c_i u(x_i)]^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)}$$

saling ketergantungan dua variabel ditandai dengan koefisien korelasinya, yang dapat dinyatakan sebagai:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)}$$

Korelasi dapat terjadi jika pengukuran yang sama digunakan lebih dari satu kali dalam proses pengukuran yang sama, namun pengaruhnya terhadap ketidakpastian gabungan mungkin positif, yaitu ketidakpastian meningkat negatif, yang akan menyebabkan pengurangan ketidakpastian

Jika korelasi positif dicurigai tetapi koefisien korelasi tidak dapat dihitung secara sederhana, masuk akal untuk mengasumsikan koefisien korelasi +1. Jika semua estimasi input berkorelasi dengan koefisien korelasi +1, ketidakpastian standar gabungan estimasi output dapat dinyatakan sebagai:

$$u_c(y) = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N c_i u(x_i) \right]^2}$$

Untuk tujuan praktis di area pengujian, aturan sederhana berikut untuk menggabungkan ketidakpastian standar diberikan:

1. Jika model hanya melibatkan jumlah atau perbedaan kuantitas, misalnya $y = (p+q+r+\dots)$.

$$u_c(y) = \sqrt{u(p)^2 + u(q)^2 + u(r)^2 + \dots}$$

2. jika model hanya melibatkan produk atau hasil bagi,

misalnya $\gamma = p \cdot q \cdot r \dots$ atau $y = p/(q \cdot r$

$$u_c(y) = y \sqrt{u(p)/(p)^2 + (u(q)/(q)^2 + (u(r)/(r)^2 + \dots}$$

3. Jika model hanya melibatkan fungsi orde-n,

$$\text{Misalnya : } y = a^n$$

$$u_c(y) = ny u(a)/a$$

2.10 Tingkat Kebebasan Efektif

Perlunya perhitungan derajat kebebasan efektif yang terkait dengan komponen ketidakpastian adalah untuk memungkinkan pemilihan yang tepat dari nilai Student's t, dan juga memberikan indikasi reliabilitas estimasi ketidakpastian. Jumlah derajat kebebasan yang tinggi mewakili jumlah pengukuran yang besar, dispersi yang rendah, dan kepercayaan nilai yang tinggi, di sisi lain, jumlah derajat kebebasan yang rendah sesuai dengan dispersi yang besar atau kepercayaan nilai yang lebih buruk. Setiap komponen ketidakpastian memiliki jumlah derajat kebebasan yang sesuai, v , yang ditetapkan padanya. Untuk nilai rata-rata n pengukuran derajat kebebasan adalah

$$v = n - 1^n$$

Untuk nilai yang diasosiasikan dengan kurva atau regresi yang dipasang, jumlah derajat kebebasannya adalah $v = \text{jumlah titik data} - \text{jumlah koefisien yang dipasang}$

Untuk estimasi komponen ketidakpastian berdasarkan pengetahuan batas $\pm a$, ISO GUM memberikan rumus yang berlaku untuk semua distro, yaitu:

$$v \approx \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta_u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2}$$

Di mana:

$\frac{\Delta_u(x_j)}{u(x_j)}$ Apakah ketidakpastian relatif dari batas yang diperkirakan

Jika semua komponen ketidakpastian telah digabungkan, jumlah derajat kebebasan dari ketidakpastian standar gabungan perlu diperkirakan, yaitu derajat kebebasan efektif untuk ketidakpastian standar gabungan yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus Welch-Satterthwaite: v ,

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_1^n \frac{u_i^4(y)}{v_i}}$$

di mana:

- V_{eff} adalah jumlah derajat kebebasan efektif untuk ketidakpastian standar gabungan
- v_i adalah jumlah derajat kebebasan dari i sampai komponen ketidakpastian.
- u_i adalah hasil $c_i u(x_i)$

Berdasarkan jumlah derajat kebebasan efektif dari ketidakpastian standar gabungan, faktor cakupan yang diperlukan untuk memperoleh ketidakpastian yang diperluas untuk yang diinginkan

tingkat kepercayaan dapat diperoleh dari tabel distribusi t , untuk tingkat kepercayaan 95% dapat dihitung dengan rumus:

$$k=1.95996+2.37356/v+2.818745/v^2+2.546662/v^3+1.761829/v^4+0.245458/v^5+1.000764/v^6$$

2.11 Ketidakpastian Yang Diperluas

Agar memiliki probabilitas yang memadai bahwa nilai besaran ukur berada dalam kisaran yang diberikan oleh ketidakpastian.

Ukuran ketidakpastian yang dimaksudkan untuk memenuhi probabilitas yang memadai disebut sebagai ketidakpastian yang diperluas, dilambangkan dengan simbol U, dan diperoleh dengan mengalikan $u_c(y)$ dengan faktor cakupan, dilambangkan dengan simbol k.:

$$U=k \times u_c(y)$$

Praktek internasional memberikan tingkat kepercayaan sekitar 95% (95,45%). Untuk tingkat kepercayaan yang ditentukan, nilai k bervariasi dengan derajat kebebasan efektif.

Dalam banyak kasus, k sama dengan 2 dapat digunakan di mana derajat kebebasan efektif cukup besar, yaitu lebih besar atau sama dengan 30. Jika derajat kebebasan efektif relatif kecil, nilai k dapat diperoleh dari t- tabel distribusi.

2.12 Pelaporan Ketidakpastian

Dalam praktiknya, jumlah informasi yang diperlukan diberikan dalam pengujian dan kalibrasi laporan atau sertifikat tergantung pada tujuan penggunaannya

Dalam pelaporan hasil pengukuran, informasi berikut harus diberikan:

1. Hasil pengukuran
2. Ketidakpastian yang diperluas dengan faktor cakupan dan tingkat kepercayaan yang ditentukan
3. Deskripsi metode pengukuran yang digunakan untuk menghitung hasil dan ketidakpastiannya Nilai dan sumber dari semua koreksi dan konstanta yang digunakan baik dalam perhitungan maupun analisis ketidakpastian
4. Hubungan fungsional $Y = f(X_1, X_2, \dots)$ dan koefisien sensitivitas yang ditentukan secara eksperimental harus diberikan.

Dalam melaporkan kalibrasi atau hasil pengujian dan ketidakpastiannya, hal-hal berikut harus dipertimbangkan:

1. Nilai numerik ketidakpastian pengukuran harus diberikan paling banyak dua angka penting.
2. Selama tahap estimasi dan kombinasi komponen ketidakpastian, setidaknya satu angka lagi harus digunakan untuk meminimalkan kesalahan pembulatan.
3. Jika pembulatan menurunkan nilai numerik ketidakpastian pengukuran lebih dari 5%, nilai pembulatan ke atas harus digunakan.
4. Nilai numerik dari hasil pengukuran harus dalam pernyataan akhir biasanya dibulatkan ke angka paling signifikan dalam nilai ketidakpastian yang diperluas yang ditetapkan untuk hasil pengukuran.

2.13 Pernyataan Kesesuaian Dengan Spesifikasi

Klausul 5.10.3.1 dari ISO/IEC 17025 tentang laporan pengujian menyatakan: "... jika perlu, untuk interpretasi laporan pengujian, termasuk:.... b) bila relevan, pernyataan kesesuaian/ketidakpatuhan dengan spesifikasi...".

Untuk laporan kalibrasi, klausul ISO/IEC 17025 menyatakan: "... jika pernyataan kepatuhan dibuat, ketidakpastian pengukuran harus diperhitungkan"

Selaras dengan klausul ISO/IEC 17025, ketika pengujian dan/atau kalibrasi dilakukan untuk spesifikasi yang dinyatakan dan klien atau spesifikasi memerlukan pernyataan kepatuhan, laporan harus berisi pernyataan yang menunjukkan apakah pengujian dan/atau hasil kalibrasi menunjukkan kesesuaian dengan spesifikasi.

Jika ketidakpastian pengukuran relevan dengan validitas atau penerapan hasil pengujian dan/atau kalibrasi, atau ketika instruksi klien mengharuskan demikian, atau jika ketidakpastian memengaruhi kepatuhan terhadap batas spesifikasi, ketidakpastian pengukuran yang diperluas harus diperhitungkan. Selain itu tingkat kepercayaan dan faktor cakupan untuk ketidakpastian harus dilaporkan.

Ketika spesifikasi menggambarkan interval dengan batas atas dan bawah, rasio ketidakpastian pengukuran terhadap interval yang ditentukan harus cukup kecil. Untuk ketidakpastian pengukuran U dan interval tertentu 27 ($2T =$ dibawah limit - paling bawah), rasio $U:T$ adalah ukuran metode pengujian atau kalibrasi dalam membedakan kepatuhan dari ketidakpatuhan.

Kasus paling sederhana adalah di mana spesifikasi dengan jelas menyatakan bahwa hasil pengujian dan/atau kalibrasi, yang diperluas dengan ketidakpastian pada tingkat kepercayaan tertentu tidak boleh berada di luar atau dalam batas atau batas spesifikasi yang ditentukan.

Lebih sering, spesifikasi memerlukan pernyataan kepatuhan dalam sertifikat laporan tetapi tidak membuat referensi untuk memperhitungkan pengaruh ketidakpastian pada penilaian kepatuhan. Dalam kasus seperti itu mungkin tepat bagi pengguna untuk membuat penilaian kepatuhan, berdasarkan apakah hasil pengujian dan/atau kalibrasi berada dalam batas yang ditentukan tanpa memperhitungkan ketidakpastian.

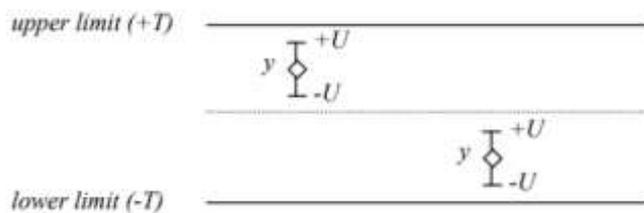
ilustrasi: hasil pengukuran untuk diameter batang adalah 0,50 mm sedangkan batas spesifikasi antara 0,45 mm hingga 0,55 mm, pengguna dapat menyimpulkan bahwa batang memenuhi persyaratan tanpa mempertimbangkan ketidakpastian pengukuran.

Ini sering disebut sebagai risiko bersama karena pengguna akhir mengambil beberapa risiko bahwa produk mungkin tidak memenuhi spesifikasi setelah diuji dengan metode pengukuran yang disepakati. Dalam hal ini terdapat asumsi implisit bahwa ketidakpastian metode pengukuran yang disepakati dapat diterima dan penting untuk dapat dievaluasi ketika diperlukan. Peraturan nasional dapat mengesampingkan prinsip risiko bersama dan dapat menempatkan risiko ketidakpastian pada satu pihak.

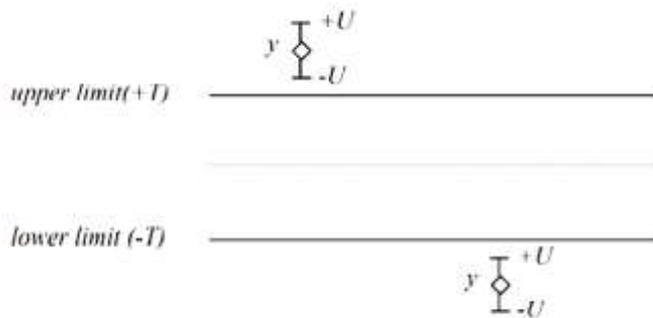
Kesepakatan antara klien dan laboratorium, atau kode praktik atau spesifikasi dapat menyatakan bahwa akurasi atau metode yang diadopsi memadai dan ketidakpastian tidak dipertimbangkan secara eksplisit ketika menilai kepatuhan, pertimbangan serupa untuk risiko bersama (di atas)

berlaku dalam keadaan seperti itu. Jika tidak ada kriteria, spesifikasi pengujian dan/atau kalibrasi, persyaratan klien, perjanjian, atau kode praktik, pendekatan berikut dapat diambil:

Jika batas spesifikasi tidak dilanggar oleh hasil pengujian dan/atau kalibrasi, diperpanjang setengah dari interval ketidakpastian yang diperluas pada tingkat kepercayaan 95%, maka kesesuaian dengan spesifikasi dapat dinyatakan (seperti yang diilustrasikan pada gambar berikut).



Ketika batas spesifikasi atas dilampaui oleh hasil pengujian, bahkan ketika diperpanjang ke bawah setengah dari interval ketidakpastian yang diperluas; atau jika batas spesifikasi yang lebih rendah dilanggar, bahkan ketika hasil pengujian diperpanjang ke atas setengah dari interval ketidakpastian yang diperluas, maka ketidaksesuaian dengan spesifikasi dapat dinyatakan (seperti yang diilustrasikan pada gambar berikut)



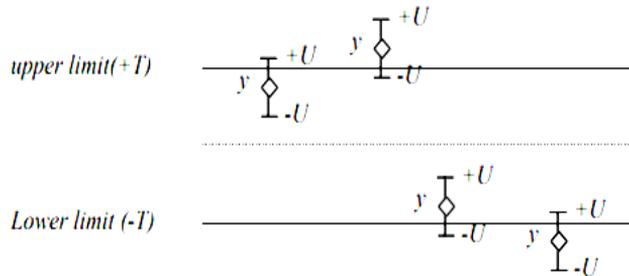
Ketika nilai tunggal yang diukur, tanpa kemungkinan pengujian lebih banyak sampel dari unit produk yang sama, jatuh cukup dekat dengan batas spesifikasi sehingga setengah dari interval ketidakpastian yang diperluas tumpang tindih dengan batas, tidak mungkin untuk memenuhi kepatuhan atau ketidakpatuhan pada tingkat kepercayaan yang dinyatakan. Hasil pengujian dan ketidakpastian yang diperluas harus dilaporkan bersama dengan pernyataan yang menunjukkan bahwa tidak ada kepatuhan atau ketidakpatuhan yang ditunjukkan. Pernyataan yang cocok untuk mencakup situasi ini (seperti yang diilustrasikan pada gambar berikut), misalnya:

- “hasil pengujian berada di atas (di bawah) batas spesifikasi dengan selisih lebih kecil dari ketidakpastian pengukuran; oleh karena itu tidak mungkin untuk menyatakan kepatuhan/ketidakpatuhan berdasarkan tingkat kepercayaan 95%. Namun, jika tingkat kepercayaan kurang dari 95% dapat diterima, pernyataan kepatuhan / ketidakpatuhan dimungkinkan”

Jika undang-undang memerlukan keputusan tentang penolakan atau persetujuan, ketika pengukuran atau hasil pengujian, berada dalam kisaran spesifikasi, pernyataan kepatuhan dapat dibuat dengan tingkat kepercayaan yang dihitung dan dilaporkan lebih rendah. Dalam kasus lain,

ketika hasil pengukuran dan pengujian berada di luar rentang spesifikasi, pernyataan ketidakpatuhan dapat dibuat dengan perhitungan dan perhitungan yang lebih rendah.

tingkat kepercayaan yang dilaporkan



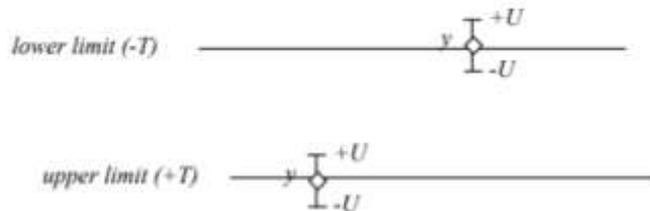
Jika hasil pengujian tepat pada batas spesifikasi (seperti yang diilustrasikan pada gambar berikut), tidak mungkin untuk menyatakan kepatuhan atau ketidakpatuhan pada tingkat kepercayaan yang ditentukan, Pengukuran dan/atau hasil pengujian harus dilaporkan bersama dengan pernyataan menunjukkan bahwa baik kepatuhan atau ketidakpatuhan ditunjukkan pada tingkat kepercayaan yang dinyatakan. Pernyataan yang cocok untuk mencakup situasi ini misalnya:

"Hasilnya sama dengan batas spesifikasi; oleh karena itu tidak mungkin untuk menyatakan kepatuhan atau ketidakpatuhan pada tingkat kepercayaan apa pun"

Jika undang-undang mensyaratkan pernyataan tentang penilaian dalam bentuk kepatuhan atau ketidakpatuhan, terlepas dari tingkat kepercayaan, pernyataan dapat dibuat tergantung pada definisi spesifikasi:

Jika batas spesifikasi didefinisikan sebagai " s " atau " 2 ", dan hasil pengujian sama dengan batas spesifikasi, maka kesesuaian dapat dinyatakan

Jika batas spesifikasi ditetapkan sebagai " $<$ " atau " $>$ ", dan hasil pengukuran dan/atau pengujian sama dengan batas spesifikasi, maka dapat dinyatakan ketidaksesuaian.



2.14 Ringkasan Prosedur Evaluasi

Berikut ini adalah panduan untuk menggunakan dokumen-dokumen ini dalam praktik:

1. Turunkan atau perkirakan model matematis dari proses pengukuran
2. Tentukan perkiraan nilai kuantitas input,
3. Daftar semua sumber ketidakpastian dalam bentuk analisis ketidakpastian
4. Mengevaluasi ketidakpastian standar tipe A untuk kuantitas yang diukur berulang kali
5. Perkirakan ketidakpastian standar tipe B berdasarkan informasi yang tersedia
6. Evaluasi koefisien sensitivitas untuk setiap jumlah input
7. Hitung ketidakpastian standar gabungan

8. Evaluasi derajat kebebasan efektif
9. Hitung ketidakpastian hasil pengukuran yang diperluas
10. Laporkan hasil pengukuran dan ketidakpastian yang diperluas terkait dan faktor cakupan dalam laporan kalibrasi/pengujian/sertifikat.
11. Jika pernyataan kesesuaian dengan spesifikasi diperlukan, evaluasi kesesuaian dengan spesifikasi berdasarkan persyaratan standar dan/atau klien.

2.15 Evaluasi Kemampuan Pengukuran Terbaik

Kemampuan Pengukuran Terbaik (BMC) didefinisikan sebagai, “ketidakpastian pengukuran terkecil yang dapat dicapai laboratorium dalam ruang lingkup akreditasi, ketika melakukan kalibrasi yang kurang lebih rutin terhadap standar pengukuran yang hampir ideal yang dimaksudkan untuk menentukan, mewujudkan, memelihara, atau mereproduksi suatu unit dengan kuantitas satu atau lebih nilainya, atau saat melakukan kalibrasi yang kurang lebih rutin terhadap alat ukur yang hampir ideal yang dirancang untuk pengukuran besaran tersebut.”

Berdasarkan definisi tersebut, perlu diperhatikan, bahwa BMC yang ditugaskan untuk suatu laboratorium harus mencerminkan kemampuan laboratorium yang bersangkutan dalam melakukan kalibrasi rutin terhadap alat ukur atau standar ukur yang mendekati ideal, yang dapat dikalibrasi oleh laboratorium tersebut dengan menggunakan sumber dayanya sendiri. Oleh karena itu, dalam prakteknya, BMC merupakan nilai ketidakpastian yang seringkali dapat dicapai oleh laboratorium dalam melaksanakan pelayanan rutin.

Ketidakpastian yang dilaporkan oleh laboratorium mungkin lebih kecil dari BMC mereka, jika dalam hal ini laboratorium mengkalibrasi alat ukur atau standar pengukuran, yang memiliki karakteristik lebih baik dari kondisi hampir ideal yang digunakan dalam evaluasi BMC

Dalam kondisi tertentu, ketidakpastian yang dilaporkan oleh laboratorium dapat lebih besar dari BMC-nya, jika dalam hal ini laboratorium mengkalibrasi alat ukur atau standar pengukuran yang memiliki karakteristik lebih buruk dari kondisi mendekati ideal yang digunakan dalam evaluasi BMC.

Kasus yang perlu diselidiki secara serius adalah ketika laboratorium melaporkan ketidakpastian yang jauh lebih besar atau jauh lebih kecil daripada BMC mereka untuk kalibrasi alat ukur atau standar pengukuran yang memiliki karakteristik yang sama atau hampir sama dengan kondisi yang hampir ideal yang digunakan dalam evaluasi BMC.

Dalam prakteknya BMC dapat dievaluasi dengan audit pengukuran menggunakan artefak yang hampir ideal atau bay assessing certainty budget yang biasa digunakan oleh laborator i dalam melaksanakan pelayanan rutin kepada kliennya.

BMC terdiri dari beberapa komponen yang bergantung pada faktor apa saja yang dibutuhkan oleh laboratorium untuk menunjukkan kompetensinya. Faktor-faktor tersebut mungkin termasuk:

- Pendidikan, pelatihan dan pengetahuan teknis personel
- Kondisi lingkungan laboratorium kalibrasi
- Pemeliharaan peralatan, termasuk interval kalibrasi dan verifikasi

Untuk mendapatkan bukti yang memadai dalam menilai BMC, pengamatan terhadap kondisi laboratorium harus dilakukan dengan mempertimbangkan:

➤ Metode Kalibrasi

Metode kalibrasi akan mempengaruhi BMC laboratorium, karena biasanya menyatakan spesifikasi unit yang diuji, persyaratan kondisi lingkungan, kalibrator, skema pengamatan, dll. Metode yang digunakan dalam proses kalibrasi akan menghasilkan nilai BMC yang berbeda untuk standar referensi atau pengukuran yang sama. peralatan. Sebagai contoh, BMC untuk kalibrasi bobot berdasarkan metode perbandingan langsung akan berbeda dari BMC berdasarkan metode siklus tertutup atau metode dekade.

➤ Standar referensi dan alat ukur

Standar acuan dan alat ukur yang digunakan dalam proses kalibrasi merupakan sumber ketidakpastian utama dalam evaluasi BMC. Ketidakpastian mereka akan menentukan jenis unit yang diuji, yang dapat dikalibrasi oleh laboratorium masing-masing. Dalam kasus tertentu, laboratorium yang memiliki standar acuan yang sama akan memiliki BMC yang berbeda karena perbedaan alat ukur yang digunakan. Misalnya, laboratorium kalibrasi massal yang memiliki standar massa E2 kelas akan memiliki BMC yang berbeda jika laboratorium menggunakan pembanding massa resolusi 0,1 mg dan yang lain menggunakan pembanding massa 0,01 mg.

Selain ketidakpastian yang dinyatakan dalam sertifikat kalibrasi, salah satu sumber ketidakpastian yang penting adalah

penyimpangan dari standar acuan dan alat ukur tersebut. Perlu dipahami bahwa nilai yang tertera pada sertifikat hanya berlaku pada saat kalibrasi. Untuk kondisi rutin, drift dapat terjadi dan dapat diestimasi berdasarkan data historis.

➤ Peralatan pendukung

Dalam proses kalibrasi, jenis dan akurasi peralatan pendukung yang digunakan untuk memantau besaran pengaruh untuk masing-masing kalibrasi akan mempengaruhi nilai BMC, serta sistem pemrosesan data untuk analisis data. Sebagai contoh, dalam kalibrasi berat, peralatan pendukung yang digunakan untuk memantau kerapatan udara selama kalibrasi akan memberikan BMC yang lebih kecil daripada laboratorium yang melakukan kalibrasi berat tanpa sistem pemantauan kerapatan udara, dan ketidakpastian akibat faktor ini diestimasi berdasarkan kondisi terburuk. variasi densitas udara.

➤ Teknik pengukuran

Teknik pengukuran yang berbeda dapat menyebabkan perbedaan nilai BMC, misalnya BMC untuk kalibrasi berat berdasarkan metode perbandingan langsung *Standar-Uji-Uji-Standar* dilakukan sekali akan memberikan BMC lebih besar dari yang dilakukan tiga seri. Jika pengukuran dilakukan sekali, ketidakpastian karena keterulangan akan menjadi ($stdev\ keseimbangan / 2^{1/2}$), dan untuk tiga rangkaian pengukuran akan menjadi ($stdev\ keseimbangan / 6^{1/2}$)

➤ Besaran pengaruh

Besaran pengaruh adalah besaran yang tidak termasuk dalam pengertian besaran ukur tetapi mempengaruhi hasil pengukuran. Kuantitas ini sering tidak dapat dihilangkan secara sempurna sehingga kontribusinya harus diperhitungkan dalam evaluasi ketidakpastian. Sebagai contoh: untuk kalibrasi standar massa berdasarkan penimbangan konvensional, deviasi kondisi laboratorium dari kerapatan udara $1,2 \text{ kg/m}^3$ harus diperhitungkan.

dihilangkan secara sempurna sehingga kontribusinya harus diperhitungkan dalam evaluasi ketidakpastian. Sebagai contoh: untuk kalibrasi standar massa berdasarkan penimbangan konvensional, deviasi kondisi laboratorium dari kerapatan udara $1,2 \text{ kg/m}^3$ harus diperhitungkan.

➤ Personil

Personil yang melakukan proses validasi akan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap evaluasi BMC. Sebagai contoh, personel yang berbeda dalam kalibrasi timbangan dengan menggunakan standar massa dan timbangan yang sama dapat memperoleh hasil yang berbeda, karena pengulangan timbangan yang diperoleh oleh dua personel dapat berbeda.

Dalam kalibrasi timbangan, kemampuan petugas dalam mengamati neraca deviasi standar akan mempengaruhi kalibrasi rutin yang dilakukan oleh laboratorium.

Spesifikasi UUT yang hampir ideal, yang dapat dikalibrasi oleh laboratorium Definisi BMC menyatakan bahwa BMC ditugaskan untuk kalibrasi rutin standar pengukuran yang

hampir ideal atau alat ukur yang dapat dikalibrasi oleh laboratorium masing-masing. Berdasarkan definisi tersebut, kontribusi unit yang diuji tidak dapat diabaikan dalam evaluasi BMC. Misalnya pada kalibrasi timbangan, laboratorium yang memiliki standar massa E₂ kelas akan memiliki kemampuan terbaik untuk mengkalibrasi berat F₁ kelas, spesifikasi standar massa memberikan kisaran kepadatan yang ditentukan untuk setiap kelas standar massa, dalam evaluasi BMC massa diperhitungkan.

Ilustrasi yang berbeda dapat diberikan untuk kalibrasi mikrometer menggunakan blok pengukur sebagai standar acuan berdasarkan JIS B 7502, dalam hal ini kondisi mikrometer terbaik yang diberikan oleh standar harus diperhitungkan.

Berdasarkan hasil observasi, sumber ketidakpastian untuk evaluasi BMC dapat mencakup, namun tidak terbatas pada:

1. Ketidakpastian standar karena standar referensi yang digunakan masing-masing kalibrasi. Ini mungkin termasuk:

ketidakpastian standar kalibrasi (berdasarkan ketidakpastian yang dilaporkan dalam sertifikat kalibrasi) *melayang* dari standar referensi (berdasarkan data historis) kondisi kerja standar referensi

2. Ketidakpastian standar akibat peralatan pendukung yang berpengaruh signifikan terhadap hasil kalibrasi. Ini mungkin termasuk:

ketidakpastian standar kalibrasi (berdasarkan ketidakpastian

yang dilaporkan dalam sertifikat kalibrasi) *melayang* kondisi peralatan pendukung (berdasarkan data historis) kerja peralatan pendukung

3. Ketidakpastian standar tipe A yang diamati selama proses kalibrasi rutin di laboratorium masing-masing, termasuk perkiraan ketidakpastian tipe dari unit yang hampir ideal yang diuji.
4. Ketidakpastian baku karena pemecahan, pembagian atau diskriminasi, termasuk yang berasal dari satuan yang hampir ideal yang diuji.
5. Ketidakpastian standar karena pengaruh besaran lain dan karakteristik dari unit yang hampir ideal yang diuji.

BAB 3

INSTALASI DAN PENERIMAAN PERALATAN MEDIS

Instalasi adalah proses pemasangan peralatan medis ke tempatnya. Proses terkait lainnya adalah pengiriman, penyimpanan dan penempatan barang yang dibeli ke lokasi yang diinginkan.

Untuk mendukung penggunaan peralatan medis agar dapat digunakan secara efisien, instalasi/instalasi tersebut mutlak harus dilakukan semaksimal mungkin. Hal ini dilakukan juga untuk menjaga asset dan keamanan rumah sakit dimana peralatan medis digunakan untuk pelayanan kesehatan dan juga merupakan barang yang cukup mahal.

Penerimaan peralatan medis/komisioning adalah proses melalui proses penerimaan secara fisik dan administratif, uji coba dan uji fungsi untuk memastikan bahwa peralatan medis itu sesuai dengan spesifikasi dan kontrak, berfungsi dengan baik sebelum digunakan dalam rangka menjamin tersedianya peralatan medis yang bermutu, aman dan laik pakai.

Terdiri dari 3 tahap yaitu pemeriksaan fisik peralatan medis setelah diinstalasi bagi peralatan medis yang mensyaratkan instalasi, uji fungsi dan uji coba disertai pelatihan bagi pengguna dan teknisi. Hasil penerimaan peralatan kesehatan dituangkan dalam berita acara penerimaan peralatan medis sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

3.1 Instalasi

Instalasi peralatan secara umum adalah tahap kegiatan pekerjaan pemasangan, yang meliputi:

1. pembukaan peti/koli (*unpacking*)

2. Penempatan alat pada tempat yang sudah ditentukan
3. Perakitan alat dan atau peletakan alat pada pondasi atau pada *ceiling*
4. Penyambungan alat dengan kelengkapan dan atau material praMinstalasi yang telah dipersiapkan
5. Pengaturan, pengukuran keluaran, kalibrasi dan atau pengujian keselamatan kerja

Instalasi peralatan harus mengacu pada petunjuk instalasi dan gambar instalasi dari pabrik pembuat/distributor.

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada waktu instalasi alat adalah sebagai berikut:

1. Tidak mengganggu kegiatan pelayanan di rumah sakit atau instansi kesehatan lainnya.
2. Instalasi dilakukan oleh tenaga yang profesional dan ahli di bidangnya.
3. Kerusakan pada gedung, kelengkapan dan atau material praMinstalasi yang diakibatkan oleh instalasi alat harus diperbaiki oleh pemasok/penyedia sehingga kembali ke keadaan semula.
4. Pada pelaksanaan instalasi, teknisi pemasok/penyedia harus mengikutsertakan teknisi rumah sakit/fasilitas pelayanan kesehatan sebagai upaya alih teknologi.

3.2 Penerimaan

Penerimaan peralatan medis/komisioning adalah proses melalui proses penerimaan secara fisik dan administratif, uji fungsi dan uji coba untuk memastikan bahwa peralatan medis itu sesuai dengan spesifikasi dalam kontrak, berfungsi dengan baik sebelum digunakan dalam rangka menjamin tersedianya peralatan medis yang bermutu, aman dan laik pakai.

Terdiri dari 3 tahap yaitu pemeriksaan fisik peralatan medis setelah diinstalasi bagi peralatan medis yang mensyaratkan instalasi, uji fungsi dan uji coba disertai pelatihan bagi pengguna dan teknisi. Hasil penerimaan peralatan medis dituangkan dalam berita acara penerimaan peralatan medis sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Peralatan yang diterima harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. telah selesai diinstalasi
- b. telah melewati masa uji coba dengan hasil baik
- c. telah melewati masa pemeliharaan peralatan sesuai program

Selain ketentuan diatas pihak penyedia masih bertanggung jawab terhadap peralatan selama masa garansi.

3.2.1. Panitia/Pejabat Penerima

Panitia/Pejabat Penerima Hasil Pekerjaan adalah panitia/pejabat yang ditetapkan oleh PA/KPA yang bertugas memeriksa dan menerima hasil pekerjaan. Dalam hal pemeriksaan Barang/Jasa memerlukan keahlian teknis khusus, dapat dibentuk tim/tenaga ahli untuk membantu pelaksanaan tugas Panitia/Pejabat Penerima Hasil Pekerjaan.

Keanggotaan Panitia/Pejabat Penerima terdiri dari unsur teknik, pengguna (user), manajemen dan petugas administrasi barang.

3.2.2. Proses Penerimaan Peralatan Medis

Proses penerimaan peralatan medis melalui 3 (tiga) tahapan, yaitu:

1) Pemeriksaan Fisik

Kegiatan yang meliputi penilaian fisik alat kelengkapan alat. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengecek kesesuaian:

Merk, tipe/model, jumlah

Bagian bagian alat

Aksesori yang dipesan

Kelengkapan dokumen teknis yang terdiri dari :

1) *Certificate of Origin*

2) *Test Certificate*

3) *Manual (operation, service, installation, wiring/schematic diagram)*

2) Uji Fungsi

Uji fungsi dilakukan untuk mengetahui kinerja alat sesuai dengan yang diharapkan atau sesuai dengan standard keamanan dan standard dari pabrikan. Pelaksanaan uji fungsi sebagai berikut :

- a. Pemeriksaan fungsi komponen/bagian alat (tombol, saklar, indikator, putaran motor, pengereman, dll)
- b. Kinerja output

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap hasil keluaran dari alat (missal: XMray, temperature, putaran, energy, daya hisap, sistem perekaman, dll).

Pada pengujian keluaran ini, supplier harus melakukan pengukuran, dengan menggunakan alat ukur yang sesuai dengan keluaran yang dihasilkan setiap jenis alat.

c. Pengujian aspek keselamatan, meliputi :

- Arus bocor
- Impedansi kabel pembumian
- Nilai tahanan hubungan pembumian
- Radiasi bocor dan paparan radiasi
- Anaesthesia gas scavenging sistem Kesetimbangan/balancing
- Sistem pengamanan tertentu

Nilai ambang batas parameter keselamatan dapat dilihat pada lampiran A.5.

Dalam pelaksanaan uji fungsi pihak penyedia haruslah menyediakan

1. Bahan operasional yang diperlukan untuk uji fungsi
2. Alat ukur yang diperlukan dan
3. Tenaga ahli yang mampu untuk melakukan uji fungsi dan peragaan alat.
4. Pelatihan operator dan tenaga teknik (elektromedis)
5. Kegiatan pelatihan sebaiknya dilakukan setelah uji fungsi dan

sebelum kegiatan uji coba dilakukan.

A. Pelatihan operator meliputi:

1. Prosedur penggunaan alat yang benar dan aman
2. Pengoperasian peralatan secara optimal
3. Pemeliharaan harian, penyimpanan alat dan penggantian bahan habis pakai
4. Penyusunan standard operating procedur (SOP)

B. Pelatihan teknisi/elektromedis meliputi:

Cara pengoperasian peralatan

- Penjelasan fungsi masingMmasing bagian alat
- Mempelajari schematic diagram
- Trouble shooting/mendeteksi kerusakan
- Pengukuran dan kalibrasi
- Pemeliharaan preventif
- Penggantian suku cadang

3) Uji Coba

Uji coba adalah kegiatan pengujian peralatan dengan melakukan penggunaan langsung pada pasien yang dilaksanakan setelah melalui proses uji fungsi dengan baik. Uji coba dilaksanakan oleh operator yang telah dilatih untuk mebiasakan penggunaan alat sesuai prosedur kerjanya dalam waktu tertentu atau berdasarkan jumlah pemakaian.

3.2.3. Masa pemeliharaan peralatan

Setelah uji fungsi alat mulai tahap masa pemeliharaan. Pemeliharaan yang dimaksud terdiri dari pemeliharaan berkala dan panggilan setiap saat (*on call service*), yaitu dalam keadaan mendesak teknisi penyedia/distributor harus bersedia melakukan perbaikan setiap saat selama masa pemeliharaan.

Ketentuan mengenai pemeliharaan pemeliharaan meliputi jangka waktu pemeliharaan, periode pemeliharaan untuk setiap alat dan jenis kegiatan pemeliharaan.

Masa garansi adalah jangka waktu tertentu sesuai ketentuan di dalam kontrak, dimanapihak penyedia masih bertanggung jawab terhadap perbaikan dan penyediaan suku cadang peralatan yang mengalami kerusakan akibat kegagalan

peralatan yang bukan diakibatkan oleh kesalahan operator dan atau kesalahan pendukung lainnya seperti listrik rumah sakit. Masa garansi dihitung sejak selesai dilakukan uji fungsi atau sejak ditandatangani Berita Acara Penerimaan peralatan.

Ketentuan mengenai penerimaan alat tersebut dari mulai instalasi, proses penerimaan (pemeriksaan fisik, uji fungsi, pelatihan, uji coba), masa pemeliharaan dan garansi harus dituangkan dalam dokumen pengadaan sehingga akan diatur pada dokumen kontrak.

3.2.4. Langkah Langkah setelah Penerimaan Alat

1. Pencatatan peralatan medis.

Semua perangkat baru akan ditempatkan pada daftar aset peralatan oleh petugas atau staf yang bertanggung jawab dan

ditunjuk.

2. Pelabelan dan Pendokumentasian.

Melampirkan label yang sesuai, sebagai informasi kepada tenaga kesehatan dan tenaga teknis bahwa perangkat ini peralatan medis dalam kondisi baru atau baru saja diterima dan penyesuaian oleh pengguna mungkin diperlukan, memperingatkan kepada pengguna bahwa peralatan medis tidak boleh digunakan sampai adanya pelatihan bagi pengguna dan tenaga teknis. Salinan manual penggunaan peralatan medis baru juga akan diberikan kepada pengguna dan tenaga teknis. Selain itu, semua catatan mengenai penerimaan peralatan medis baik itu asli maupun salinan harus didokumentasikan secara terpusat. Harus ada informasi siapa yang harus dihubungi apabila terjadi kerusakan atau insiden.

3. Perencanaan pemeliharaan Preventif.

Semua pengguna dan tenaga teknis diberitahu tentang prosedur pemeliharaan yang tepat, termasuk waktu harus dilakukan pengujian, kalibrasi dan perawatan peralatan medis.

4. Cara Penanganan peralatan medis.

Informasi untuk pengguna dan tenaga teknis untuk penanganan dan penyimpanan peralatan medis, pentingnya memastikan semua aksesori lengkap dan tersedia dan bimbingan tentang bagaimana baterai internal harus diisi ulang.

BAB 4

PARAMETER PENGUJIAN ALAT KESEHATAN

1. Suction Pump

Berfungsi untuk menghisap cairan yang tidak dibutuhkan oleh tubuh pada proses operasi, seperti darah, isi lambung, dan sebagainya.



Gambar 4.1. Suction Pump

Parameter yang di uji :

Tekanan hisap (Suction)

Alat Kalibrator untuk Alat Hisap Medis :

1. Digital Pressure meter
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

2. Anaesthesia Unit

Berfungsi untuk keperluan anaesthesia / pembiusan pasien pada saat operasi. Mesin anestesi terdiri dari flowmeter, evaporator, penyerap CO₂, sumber gas terkompresi dan unit pernapasan mekanis.



Gambar 4.2. Anaesthesia Unit

Parameter :

Flow Gas (Umumnya O₂ & N₂O)

Alat Kalibrator Anaesthesia Unit :

1. Gas Flow Analyser (VT-mobile)
2. Anaesthesia Gas Monitor (Riken Keiki)
3. Electrical safety Analyser
4. Thermohygrometer

3. Vaporizer

Berfungsi sebagai sumber obat bius yang digunakan dengan gas dari anaesthesia



Gambar. 4.3. Alat Vaporizer

Parameter :

% konsentrasi obat bius dalam gas

Alat Kalibrator Untuk Vaporizer :

1. Anaesthesia Gas Monitor (Riken Keiki)
2. Anaesthesia Vaporizer analyser
3. Thermohygrometer

4. Bed Side Monitor

Berfungsi untuk memantau kondisi pasien dari detak jantung, pernapasan, kadar O₂ dalam darah , denyut nadi



Gambar. 4.4. Bed Side Monitor

Parameter :

BPM, Respirasi, O2 % , tekanan darah

Alat Kalibrator untuk Bed Side Monitor :

1. Multi parameter simulator
2. NIBP monitor tester
3. SPO2 simulator
4. Electrical safety analyzer
5. Thermohygrometer

5. Blood Presure Monitor

Berfungsi untuk mengukur tekanan darah pasien dari lengan



Gambar 4.5. Blood Presure Monitor

Parameter :

Tekanan

Alat Kalibrator Untuk Blood Pressure Meter:

1. NIBP Analyser
2. Thermo hygrometer

6. Centrifuge

Berfungsi untuk memisahkan zat- zat campuran dalam sebuah tabung dengan cara memutar



Gambar. 4.6. Alat Centrifuge

Parameter :

Kecepatan putar (RPM) dan Timer

Alat Kalibrator Untuk Centrifuge :

1. Tachometer
2. Stopwath

3. Electrical safety Analyser
4. Thermohygrometer

7. Central Monitor

Berfungsi untuk menampilkan / menayangkan data-data dari banyak bed side monitor guna memantau pasien dari 1 tempat



Gambar 4.7. Central Monitor

Parameter :

Angka-angka pada central monitor (sama / tidak dengan angka aslinya pada Bed Side monitor)

Alat Kalibrator untuk Central Monitor :

1. Multi Parameter (MPS 450)
2. NIBP Analyser
3. SPO2 Analyser
4. Thermohygrometer

8. Defibrillator

Berfungsi untuk memberikan tegangan kejutan yang berguna merangsang kerja jantung pasien saat kerja jantung tidak normal



Gambar 4.8. Alat Defibrilator

Parameter :

output daya dan Waktu charge (pengisian)

Alat Kalibrator Untuk Defibrillator :

1. Defibrillator Analyser
2. Stopwatch
3. Electrical Safety Analyser
4. Thermohygrometer

9. ECG Monitor

Berfungsi untuk mengukur/ mengetahui detak jantung per menit

Parameter :

BPM

Alat Kalibrator untuk ECG Monitor :

1. Patient Simulator
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

10. ECG Recorder

Berfungsi untuk mencatat denyut jantung pasien dan tes untuk mengukur aktivitas elektrik atau kelistrikan jantung.



Gambar. 4.10. Alat ECG Recorder

Parameter :

BPM , kecepatan kertas dan sensitivitas

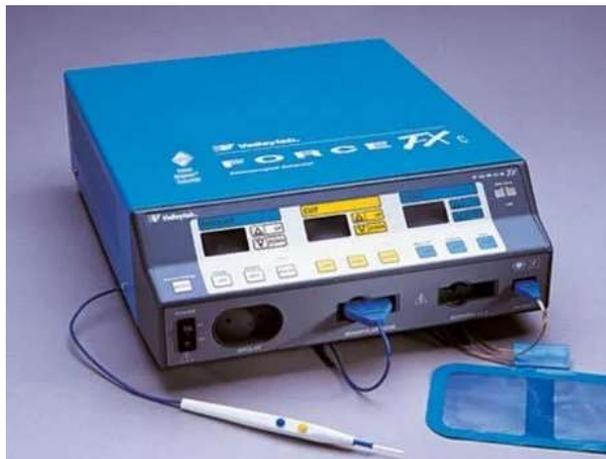
Alat Kalibrator Untuk ECG Recorder

1. ECG simulator
2. Mistar dengan ketelitian 0.25 mm

3. Lup dengan pembesaran 5x
4. Electrical safety analyzer
5. Thermohygrometer

11. Elektrosurgical Unit (ESU)

Berfungsi untuk Memotong jaringan dan membekukan pendarahan pada waktu operasi menggunakan frekuensi tinggi dan tegangan tinggi



Gambar 4.11. Elektrosurgical Unit (ESU)

Parameter :

daya untuk memotong dan membekukan.

Alat Kalibrator Untuk ESU :

1. Electrosurgical Power Meter
2. Electrical safety Analyser

3. Thermohygrometer

12. Echocardiografi

Berfungsi sebagai pemeriksaan medis yang dilakukan dengan menggunakan gelombang suara untuk mengetahui gerak jantung.



Gambar. 4.12. Alat Echocardiografi

Parameter :

Jarak dari titik ke titik dan BPM

Alat Kalibrator Untuk Echocardiography :

1. Phantom USG
2. Patient Simulator
3. Electrical safety Analyser
4. Thermohygrometer

13. ENT

Berfungsi untuk membersihkan THT



Gambar. 4.13. Alat ENT

Parameter :

Tekanan tiup dan hisap

Alat Kalibrator Untuk ENT :

1. Pressure Meter
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

14. Holter Monitor

Berfungsi untuk mengukur detak jantung per menit dan merekam hasilnya



Gambar. 4.14. Holter Monitor

Parameter :

BPM

Alat Kalibrator Untuk Holter Monitor :

1. Patient Simulator
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

15. Hemodialisa

Berfungsi untuk mencuci darah (ginjal buatan)



Gambar. 4.15. Alat Hemodialisa

Parameter :

Flow, pressure, konduktivitas, temperature dan PH

Alat Kalibrator Untuk Hemodialysa Unit :

1. Dialysis Reference Meter
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

16. Infant Incubator

Berfungsi untuk mengkondisikan (menghangatkan) suhu tubuh bayi



Gambar. 4.16. Alat Kesehatan Infant Incubator

Parameter :

Suhu, tingkat kebisingan, kelembaban dan aliran udara

Alat Kalibrator Untuk Incubator Baby

1. Baby incubator analyzer
2. Electrical safety analyzer
3. Thermohygrometer

17. Infant Warmer

Berfungsi untuk mengkondisikan (menghangatkan) udara sekitar (tapi dengan cara radiasi dari lampu pemanas)



Gambar. 4. 17. Infant Warmer

Parameter :

Suhu

Alat Kalibrator Infant Warmer

1. INCU Anayzer
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

18. Infusion Pump

Berfungsi untuk mengalirkan cairan infus ke tubuh pasien dengan flow (tekanan) yang stabil dan konstan



Gambar. 4.18. Infuse Pump

Parameter :

Flow , tahanan Occlusion (penyumbatan)

Alat Kalibrator Untuk Infusion Pump :

1. Infusion Device Analyzer
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

19. Lampu Operasi

Berfungsi untuk Penerangan pada kegiatan operasi



Gambar. 4.19. Lampu Operasi

Parameter :

Intensitas cahaya

Alat Kalibrator Untuk Lampu Operasi :

1. LUX Meter
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

20. Light Source (Lampu Tindakan)

Berfungsi untuk Penerangan tetapi tidak untuk operasi



Gambar. 4.20. Light Source (Lampu Tindakan)

Parameter :

Intensitas cahaya

Alat Kalibrator Untuk Lampu Tindakan :

1. LUX Meter

2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

21. Nebulizer

Berfungsi untuk menghasilkan uap dasar yang kemudian dialirkan untuk dihirup kepada pasien



Gambar. 4.21. Nebulizer

Parameter :

Flow

Alat Kalibrator Untuk Nebulizer :

1. Gas Flow Analyser (VT-mobile)
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

22. Oxygen Therapy

Berfungsi untuk membantu orang bernapas dan mendapatkan asupan oksigen cukup.

Parameter :

Flow

Alat Kalibrator untuk Oxygen Therapy :

- Gas Flow Analyser (VT-mobile)
- Electrical safety Analyser
- Thermohygrometer

23. Oxygen Concentrator

Berfungsi untuk menghasilkan oksigen dari udara segar



Gambar. 4.23. Oxygen Concentrator

Parameter :

Flow dan % oxygen

Alat Kalibrator

1. Gas Flow Analyser (VT-mobile)
2. Electrical safety Analyser
3. Thermo hygrometer



24. Phototherapy unit

Berfungsi untuk terapi bayi dengan penyinaran menggunakan blue light



Gambar. 4. 24. Alat Foto Terapi

Parameter :

Daya per luas (konsentrasi daya)

Alat Kalibrator Untuk Phototherapy :

1. Phototherapy Radiometer 450nm
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

25. Pulse Oxymeter

Berfungsi untuk memantau denyut nadi pasien dan kadar oksigen dalam darah



Gambar. 4.25. Pulse Oxymetri

Parameter :

pulse per menit dan % oksigen

Alat Kalibrator Untuk Pulse Oxymetry :

1. SPO2 Analyzer

2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

26. Spectrophotometer

Berfungsi untuk menghitung konsentrasi kadar zat dalam cairan tubuh



Gambar 4. 26 Spectrophotometer

Parameter :

Absorbance

Alat Kalibrator Untuk Spectrophotometer :

1. Spectrometric Calibration Standard
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

27. Sphygmomanometer Air Raksa

Berfungsi untuk mengukur tekanan darah



Gambar 4. 27 Sphygmomanometer Air Raksa

Parameter :

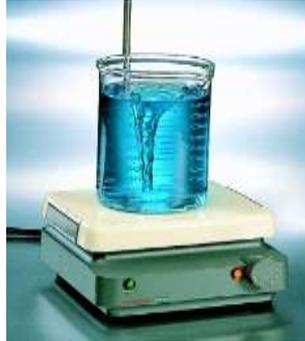
tingkat kebocoran dan tekanan

Alat Kalibrator untuk Sphygmomanometer :

1. Digital Pressure Meter
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

28. STIRER

Berfungsi untuk mengaduk larutan / campuran



Gambar 4.28 Stirer

Parameter :

Putaran per menit

Alat Kalibrator Untuk Stirer ;

1. Tachometer
2. Stopwath
3. Electrical safety Analyser
4. Thermohygrometer

29. Syringe Pump

Berfungsi untuk mengantikan cairan dari syringe ke pasien dengan flow yang stabil dan konstan



Gambar 4.29 Syringe Pump

Parameter :

Flow , tahanan Occlusion (penyumbatan)

Alat Kalibrator untuk syringe pump :

1. Infusion Device Analyzer
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

30. Treadmill

Berfungsi untuk alat test lari pasien untuk memantau posisi jantung



Gambar 4. 30 Treadmill

Parameter :

kecepatan ban treadmill, BPM treadmill

Alat Kalibrator untuk Treadmill :

1. Tachometer
2. Stopwatch
3. Electrical safety Analyser
4. Thermohygrometer

31. UST(ultra sound therapy)

Berfungsi untuk therapy dengan menggunakan gelombang ultrasonik (ultrasound)



Gambar 4.31 ultra sound therapy

Parameter :

daya / daya perluas

Alat Kalibrator untuk ultrasound therapy :

1. Ultrasound Watt Meter

2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

32. Ultrasonography (USG)

Berfungsi untuk menampilkan organ dalam pasien pada layar monitor dengan menggunakan ultrasound



Gambar 4.32 Ultrasonography

Parameter :

jarak dari titik ke titik (horizontal dan vertikal)

Alat Kalibrator

1. Phantom USG
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

33. Ventilator

Berfungsi Untuk Menunjang Atau Membantu Pernapasan



Gambar 4.33 Ventilator

Parameter :

Tidal volume, I : E ratio dan breath rate

Alat Kalibrator

1. Gas Flow Analyser (VT-mobile)
2. Electrical safety Analyser
3. Thermohygrometer

34. X-Ray Mobile

Berfungsi untuk menampilkan gambar organ dalam pasien dengan menggunakan sinar X



Gambar 4.34 X-Ray Mobile

Parameter :

Tegangan , arus dan waktu ekspose

Alat Kalibrator

1. Full Function Meter / KV Meter
2. mA / mAs Meter
3. Multi meter
4. Thermohygrometer

BAB 5

STUDI KASUS ALAT CENTRIFUGE

5.1 Pengertian *Centrifuges*

Centrifuges merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan organel berdasarkan massa jenisnya melalui proses pengendapan. Dalam prosesnya, *centrifuges* menggunakan prinsip rotasi atau perputaran tabung yang berisi larutan agar dapat dipisahkan berdasarkan massa jenisnya. Larutan akan terbagi menjadi dua fase yaitu *supernatant* yang berupa cairan dan *pellet* atau organel yang mengendap. Peralatan *centrifuges* terdiri dari sebuah rotor atau tempat untuk meletakkan larutan yang akan dipisahkan. Rotor ini nantinya akan berputar dengan cepat yang akan mengakibatkan larutan akan terpisah menjadi dua fase. Semakin cepat perputaran yang dilakukan, semakin banyak pula organel sel yang dapat diendapkan begitu juga sebaliknya, semakin lambat putaran yang dilakukan, maka semakin lambat pula organel sel yang dapat diendapkan.

5.2 Standar Keamanan Alat Kesehatan Berbasis Listrik

Khusus untuk alat kesehatan berbasis listrik, sebuah institusi standar internasional IEC (International Electrotechnical committee)telah mengeluarkan standar untuk keamanan alat kesehatan berbasis listrik, yaitu dari seri IEC 60601. Standar IEC 60601 ini diajukan untuk menetapkan persyaratan umum bagi alat kesehatan berbasis listrik agar pengguna atau operator aman. Oleh karena itu peralatan kesehatan baik yang sifatnya untuk mendiagnosa, penanganan, penyembuhan maupun

untuk memonitoring harus teruji terhadap persyaratan standar IEC 60601-1, antara lain dari aspek kelistrikan yaitu :

1. Besar arus bocor
2. Kekuatan dielektrik dari isolasi, yang diuji dengan tegangan tinggi
3. Ground bond continuity : keandalan kawat tanah terhadap arus tinggi (25 A)
4. Tegangan listrik yang tersisa pada alat, setelah kabel dicabut dari sumber daya dalam waktu 1 detik.
5. Tegangan/energi yang ada pada sembarang bagian dari alat yang dapat tergapai pasien
6. Konsumsi arus/daya listrik dari alat

5.3 Terjadi Kebocoran Arus

Mengapa alat kesehatan berbasis listrik ini berbahaya salah satu aspek yang dimungkinkan dari berbasis listrik adalah terjadinya aliran listrik sebagai akibat kebocoran arus kedalam tubuh manusia, yang dapat berakibat :

1. Pembengkakkan jaringan
2. Pembakaran jaringan
3. Kejang otot
4. Berhentinya nafas
5. Jantung berhenti berdenyut

6. Fibrilasi Ventricular (detak jantung yang tidak teratur)

5.4 Prosedure Pengujian Kalibrasi Centrifuges Sesuai Standar Operasional Kerja

- a. Persiapan dokumen
 1. Metode kerja
 2. Instruksi kerja
 3. Lembar kerja
- b. Persiapan alat yang akan diuji/kalibrasi
 1. Siapkan alat yang akan diuji/kalibrasi
 2. Periksa kelengkapan aksesoris
- c. Persiapan alat uji/kalibrasi
 1. Siapkan alat ukur keselamatan listrik
 2. Siapkan alat ukur tachometer
 3. Siapkan alat ukur stopwatch
 4. Siapkan thermohygrometer
- d. Pendataan administrasi alat yang diuji/kalibrasi di lembar kerja yang minimal terdiri dari :
 1. Catat identitas penguji
 2. Catat nama alat
 3. Catat merk alat
 4. Catat model alat
 5. Catat nomor seri
 6. Catat ruangan
 7. Catat tanggal pelaksanaan
- e. Pengukuran kondisi lingkungan
 1. Siapkan dan hidupkan thermohygrometer

2. Catat suhu dan kelembaban awal kerja
3. Catat suhu dan kelembaban akhir kerja

5.5 Pemeriksaan Fisik Dan Fungsi Alat Yang Diuji/Kalibrasi

1. Badan dan permukaan alat, periksa bagian luar unit, pastikan bersih, terpasang ketat satu dan lainnya dan tidak ada bekas tertimpa cairan ataupun gangguan lainnya.
2. Kotak kontak alat, periksa apakah ada gangguan pada kotak kontak (AC-power). Gerakkan kotak kontak untuk memastikan keamanannya. Goyang-goyangkan kotak kontak untuk memastikan tidak ada baut atau mur yang longgar
3. Kabel catu utama, periksa kabel, apakah terlihat ada kerukan atau bagian isolasi yang tergelupas.
4. Sekering pengaman, periksa sekering yang terdapat pada luar rangkaian, apakah nilai tahanannya dan tipenya sesuai dengan spesifikasi yang tertulis pada alat. Sekering pengamanan harus berfungsi dengan baik.
5. Kabel elektroda, periksa kabel dan fungsinya masing-masing kedua ujungnya (kotak kontak) dan keregangannya secara menyeluruh. Kemudian periksa dengan hati-hati apakah ada luka ataupun sobek pada lapisan isolasinya, hal ini untuk menghindari adanya gangguan trngangan dan mencengah noise.
6. Tombol, saklar dan control, sebelum mempergunakan/ mengubah-ubah tombol control, periksa posisinya, jika terlihat tidak berada pada posisinya (periksa dengan menggunakan mode pemeriksaan standar) bandingkan dengan posisi control. Ingat pengaturan tersebut dan jangan lupa untuk

mengembalikan pada setting awal jika sudah selesai menggunakannya.

7. Tampilan dan indicator, selama pengecekan fungsi, pastikan lampu indicator dan tampilan berfungsi seluruhnya, yakinkan bahwa bagian tampilan digital berfungsi

5.6 Perhitungan Dan Analisa Ketidakpastian Pengukuran

5.6.1 Analisa Data dan Perhitungan Ketidakpastian

a. Kalibrasi Kecepatan Putar (RPM)

1. Model Matematis

Metode kalibrasi adalah direct calibration (kalibrasi langsung), tachometer dan Centrifuge dihubungkan secara langsung.

$$C = V_{std} - V_{uut}$$

Dimana :

- C : Koreksi penunjukan kecepatan pada centrifuge
- V_{std} : Nilai kecepatan putar yang terbaca pada tachometer
- V_{uut} : Nilai kecepatan putar yang terbaca pada centrifuge

2. Analisa Perhitungan Ketidakpastian

- a. Sumber-sumber ketidakpastian pengukuran

Tipe A :

1. Pengamatan berulang pengukuran kecepatan oleh tachometer
2. Koefisien sensitifitasnya adalah 1
3. Derajat kebebasan untuk lima kali pengukuran = 4

Tipe B :

1. Nilai ketidakpastian standar (tachometer) berdasarkan sertifikat kalibrasinya
 2. Resolusi centrifuge
 3. Drift standar
 4. Koefisien sensitifitasnya didapatkan dari model matematis diatas, dimana model matematis tersebut mempunyai nilai turunan pertama yaitu 1.
- b. Menghitung ketidakpastian gabungan, derajat kebebasan efektif dan ketidakpastian bentangan.
- c. Derajat kebebasan pada masing-masing sumber ketidakpastian Tipe B dengan ditentukan nilai reliabilitasnya 10 adalah = 50.
- d. Menghitung ketidakpastian gabungan, derajat kebebasan efektif dan ketidakpastian bentangan.

b. Kalibrasi Pewaktu

1. Metode matematis

$$C = t_{std} - t_{tuut}$$

Dimana,

- C : Koreksi penunjukan waktu pada centrifuge
- t_{std} : Nilai Penunjukkan waktu putar yang terbaca pada stopwatch
- t_{tuut} : Nilai penunjukkan waktu putar yang terbaca centrifuge

2. Analisa Perhitungan Ketidakpastian

a. Sumber-sumber ketidakpastian pengukuran

Tipe A

1. Pengamatan berulang pengukuran waktu putar dengan standar
2. Koefisien sensitifitasnya = 1
3. Derajat kebebasan untuk lima kali pengukuran = 4

Tipe B

Nilai ketidakpastian stopwatch berdasarkan sertifikat kalibrasinya.

1. Resolusi centrifuge
 2. Drift standar
 3. Perbedaan pembacaan
 4. Koefisien sensitifitasnya berdasarkan model matematisnya adalah 1.
- b. Menghitung ketidak pastian gabungan, derajat kebebasan efektif dan ketidakpastian bentangan.
- c. Derajat kebebasan pada masing-masing sumber ketidak pastian Tipe B dengan ditentukan nilai reliabilitasnya 10, adalah = 50
- d. Menghitung ketidakpastian gabungan, derajat kebebasan efektif dan ketidakpastian bentangan

5.6.2 Nilai Ambang Batas Dan Nilai Penyimpangan (Toleransi) Yang Di Ijinkan

- a. Evaluasi hasil pengujian keselamatan listrik, mengacu pada MK besar pengujian keselamatan listrik
- b. Evaluasi hasil pengujian kinerja.

Table 5.1. Nilai Toleransi Pengujian Kinerja

No.	Parameter	Toleransi
1.	Kecepatan Putar (Rpm)	$\pm 10\%$
2.	Pewaktu (detik)	$\pm 10\%$

5.6.3 Telaah Teknis

1. Lakukan telaah teknis berdasarkan kondisi fisik dan fungsi alat
2. Lakukan telaah teknis keselamatan listrik berdasarkan hasil pengujian keselamatan listrik mengacu pada MK pengujian keselamatan listrik Lakukan telaah teknis pengujian kinerja berdasarkan prosedur pernyataan kesesuaian dan aturan keputusan dengan penjelasan sebagai berikut :

Pengukuran kinerja :

- a. $\geq 70\%$ dari titik pengukuran dalam batas toleransi, maka hasilnya adalah memenuhi persyaratan.
- b. $< 70\%$ dari titik pengukuran dalam batas toleransi, maka hasilnya adalah tidak memenuhi persyaratan.

Table 5.2. Telaah Teknis

Parameter Kinerja	Telaah Teknis Pengujian Kinerja
Seluruh Parameter Kinerja Masuk Dalam Batas toleransi	Memenuhi Persyaratan
Salah Satu Parameter Kinerja Diluar Batas Toleransi	Tidak Memenuhi Persyaratan

Batas koreksi atau kesalahan relative dan ketidak pastian harga mutlak nilai koreksi ditambah dengan harga mutlak dengan ketidakpastian pengukuran adalah lebih kecil / sama dengan nilai toleransi

5.6.4 Daftar Alat Ukur

Tabel 5.3 Daftar Alat Ukur

No	Nama Alat	Merk	Model/Type	No.Seri
1	Tachometer	Compack	CT6 / LSR / ERP	634246
2	Timer	Casio	TMR-100	-
3	Thermohygrometer	GHM-Greisinger	GFTB200	34902418
4	Electrical Safety Analyzer	Fluke	ESA615	4427051

5.6.5 Pengukuran Kondisi Lingkungan

Tabel 5.4 Pengukuran Kondisi Lingkungan

No	Parameter	Terukur		Memenuhi	
		Ambang Batas	Terukur	YA	Tidak
1	Temperatur Ruang	$25^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$	$23^{\circ}C$	✓	
2	Kelembaban Ruang	55% RH±20%RH	57.1%	✓	
3	Tegangan Input	220V±10%	232.2 V	✓	

5.6.6 Pemeriksaan Fisik Dan Fungsi Alat

Tabel 5.5 Pemeriksaan Fisik Dan Fungsi Alat

No	Parameter	Batasan Pemeriksaan	Hasil Pengamatan	
			Baik	Tidak
1	Badan Dan Permukaan Alat	Periksa bagian luar unit, pastikan bersih, terpasang ketat satu dan yang lainnya dan tidak ada bekas tertimpa cairan ataupun gangguan lainnya	✓	
2	Kotak kontak	Periksa apakah ada gangguan pada kotak kontak (AC-Power). Gerak-gerakkan kotak kontak untuk memastikan keamanannya. Goyang-goyangkan kotak kontak untuk memastikan tidak ada baut atau mur yang longgar	✓	

3	Kabel Catu Daya Utama	Periksa kabel, apakah ada kerusakan atau bagian isolasi yang tergelupas	✓	
4	Sekering Pengaman	Periksa sekering yang terdapat pada bagian luar rangkaian, apakah nilai tahanan dan tipenya sesuai dengan spesifikasinya yang tertulis pada alat. Sekering pengaman harus berfungsi dengan baik	✓	
5	Kabel Elektroda	Periksa kabel dan fungsi masing-masing kedua ujung (kotak kontak) dan regangannya secara menyeluruh. Kemudian periksa dengan hati-hati apakah terdapat luka ataupun sobek pada lapisan isolasinya, hal ini untuk menghindari adanya gangguan tegangan dan mencegah noise	✓	
6	Tombol	Saklar dan control, sebelum mempergunakan/ mengubah-ubah tombol control, periksa posisinya, jika terlihat control. Ingat pengaturan tersebut dan jangan lupa untuk mengembalikan pada setting awal jika sudah selesai mengungkannya	✓	
7	Tampilan Dan Indikator	Selama pengecekan fungsi, pastikan lampu indicator dan tampilan berfungsi seluruhnya, yakinkan bahwa bagian tampilan digital berfungsi	✓	

5.6.7 Uji Keselamatan Listrik

Tabel 5.6 Uji Keselamatan Listrik

No	Parameter	Standar	Terukur	Memenuhi	
				Ya	Tidak
1	Inspeksi Visual			✓	
2	Resistansi Penumbumian Protektif	$\leq 200\text{m}\Omega$	0,432m Ω	✓	
3	Arus Bocor Peralatan	$\leq 500\mu\text{A}$	0,1 μA	✓	
4	Resistansi Isolasi	$> 2\text{M}\Omega$	11,1M Ω	✓	

Tipe Applied Part :

B : Peralatan yang tidak memiliki aksesoris

BF : Peralatan kesehatan yang aksesorisnya terhubung ke pasien

CF : Peralatan alat kesehatan yang aksesorisnya terhubung ke pasien
(sistim cardiac / Jantung)

PIE : Peralatan yang diinstalasi permanen

NPS : Kabel catu daya yang tidak dapat dilepas

DPS : Kabel catu daya yang dapat dilepas

a. Penilaian Secara Menyeluruh

✓

Aman atau tidak terjadi penyimpangan fungsional

Terdeteksi tidak aman atau terjadi penyimpangan fungsional

	Tidak ada resiko langsung, terdeteksi penyimpangan mungkin akan diperbaiki dalam waktu dekat
	Peralatan tidak diijinkan operasional hingga penyimpangan diperbaiki/dikoreksi
	Peralatan tidak memenuhi-disarankan modifikasi / pertukaran komponen / ditarik dari layanan

5.6.8 Uji Akurasi Kecepatan Putar

Tabel 5.7 Uji Akurasi Kecepatan Putar

Parameter	Terukur Standar (Rpm)				
	1	2	3	4	5
Setting Pada Centrifuge (Rpm)					
2000	2012	2011	2012	2010	2013
2500	2513	2511	2515	2511	2511
3000	3016	3014	3015	3014	3015
3500	3510	3516	3515	3512	3511
4000	4009	4008	4008	4010	4009

1. Menghitung Nilai Rata-Rata

Menghitung rata rata adalah menjumlah banyaknya data pengukuran yang diperoleh dan di bagi jumlah data tersebut(pengukuran berulang)

a. Menghitung Nilai Rata-rata (Mean)

$$X_i = \frac{x_1+x_2+x_3+\dots+x_n}{n}$$

Dimana :

X_i : Data Ukur

n : Banyaknya Data

Pengukuran yang dilakkukan berulang pada satu titik dilakukan selama (lima) 5 kali pengukuran

a. Setting 2000 Rpm

$$X_i = \frac{2012+2011+2012+2010+2013}{5}$$

$$X_i = \frac{10058}{5}$$

$$X_i = 2011,6 \text{ Rpm}$$

b. Setting 2500 Rpm

$$X_i = \frac{2513+2511+2515+2511+2511}{5}$$

$$X_i = \frac{12561}{5}$$

$$X_i = 2512,2 \text{ Rpm}$$

c. Setting 3000 Rpm

$$X_i = \frac{3016+3014+3015+3014+3015}{5}$$

$$X_i = \frac{15074}{5}$$

$$X_i = 3014,8 \text{ Rpm}$$

d. Setting 3500 Rpm

$$X_i = \frac{3510+3516+3515+3512+3511}{5}$$

$$X_i = \frac{17564}{5}$$

$$X_i = 3.512,8 \text{ Rpm}$$

e. Setting 4000 Rpm

$$X_i = \frac{4009+4008+4008+4010+4009}{5}$$

$$X_i = \frac{20044}{5}$$

$$X_i = 4008,8 \text{ Rpm}$$

Tabel 5.8 Hasil Pengukuran Berulang

No	Setting Pada Alat (Rpm)	Bacaan Rata-rata Pada Standar (Rpm)
1	2000	2011,6
2	2500	2512,2
3	3000	3014,8
4	3500	3512,8
5	4000	4008,8

5.6.9 Sumber Ketidak Pastian Tipe A

1. Mengukur Standar Deviasi

$$SD = \sqrt{\frac{(Xi - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Dimana :

SD : Standar Deviasi

\bar{X} : Nilai Rata-rata

N : Banyaknya Data

Xi : Data Ukur

a. Setting 2000 Rpm

$$\begin{aligned} SD \text{ 2000 Rpm} &= \sqrt{\frac{(2000-2011,6)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(-11,6)^2}{4}} \\ &= \sqrt{\frac{134,5}{4}} \\ &= \sqrt{33,6} \\ &= 5,7 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

b. Setting 2500 Rpm

$$\begin{aligned} \text{SD 2500 Rpm} &= \sqrt{\frac{(2500-2512,2)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(-12,2)^2}{4}} \\ &= \sqrt{\frac{148,8}{4}} \\ &= \sqrt{37,2} \\ &= 6,0 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

c. Setting 3000 Rpm

$$\begin{aligned} \text{SD 3000 Rpm} &= \sqrt{\frac{(3000-3014,8)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(-14,8)^2}{4}} \\ &= \sqrt{\frac{219,04}{4}} \\ &= \sqrt{54,7} \\ &= 7,3 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

d. Setting 3500 Rpm

$$\begin{aligned} \text{SD 3500 Rpm} &= \sqrt{\frac{(3500-3512,8)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(-12,8)^2}{4}} \end{aligned}$$

$$= \sqrt{\frac{163,84}{4}}$$

$$= \sqrt{40,9}$$

$$= 6,3 \text{ Rpm}$$

e. Setting 4000 Rpm

$$\text{SD 4000 Rpm} = \sqrt{\frac{(4000-4008,8)^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(-8,8)^2}{4}}$$

$$= \sqrt{\frac{77,44}{4}}$$

$$= \sqrt{19,36}$$

$$= 4,4 \text{ Rpm}$$

Tabel 5.9 Hasil Standar Deviasi

NO	Setting Pada Alat (Rpm)	Standar Deviasi (Rpm)
1	2000	5,7
2	2500	6,0
3	3000	7,3
4	3500	6,3
5	4000	4,4

5.6.10 Ketidakpastian Berulang

$$U_{pb} = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

a. Setting 2000 Rpm

$$U_{pb} = \frac{5,7}{\sqrt{5}} = \frac{5,7}{2,23} = 2,55 \text{ Rpm}$$

b. Setting 2500 Rpm

$$U_{pb} = \frac{6,0}{\sqrt{5}} = \frac{6,0}{2,23} = 2,6 \text{ Rpm}$$

c. Setting 3000 Rpm

$$U_{pb} = \frac{7,3}{\sqrt{5}} = \frac{7,3}{2,23} = 3,2 \text{ Rpm}$$

d. Setting 3500 Rpm

$$U_{pb} = \frac{6,3}{\sqrt{5}} = \frac{6,3}{2,23} = 2,8 \text{ Rpm}$$

e. Setting 4000 Rpm

$$U_{pb} = \frac{4,4}{\sqrt{5}} = \frac{4,4}{2,23} = 1,9 \text{ Rpm}$$

Tabel 5.10 Nilai Ketidakpastian Berulang

NO	Setting Pada Alat (RPM)	Nilai Ketidakpastian Berulang (RPM)
1	2000	2,55
2	2500	2,6
3	3000	3,2
4	3500	2,8
5	4000	1,9

$$\text{Derajat Kebebasan (} V_{Pb} \text{)} = n - 1$$

$$= 5 - 1$$

$$= 4$$

5.6.11 Sumber Ketidakpastian Tipe B

1. Ketidakpastian dari Tachometer

a. Setting 2000 RPM

$$\begin{aligned}U_{\text{Tac}} &= \frac{U \text{ sertifikat Kalibrasi Tachometer}}{\text{Faktor Cakupan (K)}} \\&= \frac{0,03 \% \text{ Dari pembacaan}}{2} \\&= \frac{0,03 \% \times 2011,6}{2} \\&= \frac{0,60}{2} \\&= 0,3 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

b. Setting 2500 Rpm

$$\begin{aligned}&= \frac{0,03 \% \times 2512,2}{2} \\&= \frac{0,75}{2} \\&= 0,37 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

c. Setting 3000 Rpm

$$\begin{aligned}&= \frac{0,03 \% \times 3014,8}{2} \\&= \frac{0,90}{2} \\&= 0,45 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

d. Setting 3500 Rpm

$$= \frac{0,03 \% \times 3512,8}{2}$$

$$= \frac{1,05}{2}$$

$$= 0,52 \text{ Rpm}$$

e. Setting 4000 Rpm

$$= \frac{0,03 \% \times 4008,8}{2}$$

$$= \frac{1,20}{2}$$

$$= 0,6 \text{ RPM}$$

Tabel 5.11 Ketidakpastian Dari Tachometer

NO	Setting Pada Alat	Ketidakpastian tachometer (Rpm)
1	2000	0,30
2	2500	0,37
3	3000	0,45
4	3500	0,52
5	4000	0,6

Derajat Kebebasan dari standar (tachometer) hingga keraguraguan

$$R = 10$$

$$V_{\text{Tac}} = \frac{1}{2} \left(\frac{100}{R} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{10} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} (100)$$

$$= 50$$

2. Ketidakpastian dari dayabaca (resolusi) Centrifuge

$$\begin{aligned}U_{db} &= \frac{1 \text{ resolusi Centrifuge}}{2 \sqrt{3}} \\&= \frac{\frac{1}{2}(1)}{\sqrt{3}} \\&= \frac{0,5}{\sqrt{3}} \\&= 0,29 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

3. Derajat kebebasan dari centrifuge

$$\begin{aligned}V_{\text{Centrifuge}} &= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{R} \right)^2 \\&= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{10} \right)^2 \\&= 50\end{aligned}$$

5.6.12 Ketidakpastian dari Drift Standar

$$\begin{aligned}U_{\text{Drift}} &= \frac{\text{Nilai Ketidakpastian terbesar} \times 1/10}{\sqrt{3}} \\&= \frac{0,6 \times 1/10}{\sqrt{3}} \\&= \frac{0,006}{\sqrt{3}} \\&= \frac{0,006}{1,7} \\&= 0,0035 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{R} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{10} \right)^2$$

$$= 50$$

5.6.13 Ketidakpastian Gabungan

a. $U_{c2000} =$

$$\sqrt{(Upb)^2 + (Utac)^2 + (Udbcentrifuge)^2 + (Udrifstandar)^2}$$

$$= \sqrt{(2,55)^2 + (0,03)^2 + (0,29)^2 + (0,6)^2}$$

$$= \sqrt{6,94}$$

$$= 2,6 \text{ Rpm}$$

b. $U_{c2500} =$

$$\sqrt{(Upb)^2 + (Utac)^2 + (Udbcentrifuge)^2 + (Udrifstandar)^2}$$

$$= \sqrt{(2,6)^2 + (0,37)^2 + (0,29)^2 + (0,6)^2}$$

$$= \sqrt{7,28}$$

$$= 2,69 \text{ Rpm}$$

c. $U_{c3000} =$

$$\sqrt{(Upb)^2 + (Utac)^2 + (Udbcentrifuge)^2 + (Udrifstandar)^2}$$

$$= \sqrt{(3,2)^2 + (0,45)^2 + (0,29)^2 + (0,6)^2}$$

$$= \sqrt{10,88}$$

$$= 3,29 \text{ Rpm}$$

d. $U_{c3500} =$

$$\sqrt{(Upb)^2 + (Utac)^2 + (Udbcentrifuge)^2 + (Udrifstandar)^2}$$

$$= \sqrt{(2,8)^2 + (0,52)^2 + (0,29)^2 + (0,6)^2}$$

$$= \sqrt{8,51}$$

$$= 2,9 \text{ Rpm}$$

e. $U_{c4000} =$

$$\begin{aligned} & \sqrt{(Upb)^2 + (Utac)^2 + (Udbcentrifuge)^2 + (Udrifstandar)^2} \\ & = \sqrt{(1,9)^2 + (0,6)^2 + (0,29)^2 + (0,6)^2} \\ & = \sqrt{4,41} \\ & = 2,1 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

Tabel 5.12 Ketidakpastian Gabungan

No	Setting Pada Alat (Rpm)	Pengukuran Ketidakpastian Gabungan (Rpm)
1	2000	2,6
2	2500	2,69
3	3000	3,29
4	3500	2,9
5	4000	2,1

5.6.14 Ketidakbebasan Derajat Efektif (V_{eff})

a. Setting 2000 Rpm

$$\begin{aligned} V_{eff} &= \frac{(Uc)^4}{\left[\frac{(Upb)^4}{(Vpb)} + \frac{(Utac)^4}{(Vtac)} + \frac{(Udb)^4}{(Vdb)} + \frac{(Udrift)^4}{(Vtac)} \right]} \\ &= \frac{(2,6)^4}{\left[\frac{(2,55)^4}{(4)} + \frac{(0,03)^4}{(50)} + \frac{(0,29)^4}{(50)} + \frac{(0,6)^4}{(50)} \right]} \\ &= \frac{(45,69)}{\left[\frac{(42,28)}{(4)} + \frac{(0,081)}{(50)} + \frac{(0,0070)}{(50)} + \frac{(0,129)}{(50)} \right]} \\ &= \frac{45,69}{10,59} \\ &= 4,31 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

b. Setting 2500 Rpm

$$\begin{aligned} &= \frac{(2,69)^4}{\left[\frac{(2,6)^4}{(4)} + \frac{(0,37)^4}{(50)} + \frac{(0,29)^4}{(50)} + \frac{(0,6)^4}{(50)} \right]} \\ &= \frac{(52,36)}{\left[\frac{(45,6)}{(4)} + \frac{(0,0187)}{(50)} + \frac{(0,0070)}{(50)} + \frac{(0,129)}{(50)} \right]} \\ &= \frac{52,36}{11,42} \\ &= 4,58 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

c. Setting 3000 Rpm

$$\begin{aligned} &= \frac{(3,29)^4}{\left[\frac{(3,2)^4}{(4)} + \frac{(0,45)^4}{(50)} + \frac{(0,29)^4}{(50)} + \frac{(0,6)^4}{(50)} \right]} \\ &= \frac{(117,16)}{\left[\frac{(104,8)}{(4)} + \frac{(0,041)}{(50)} + \frac{(0,0070)}{(50)} + \frac{(0,129)}{(50)} \right]} \\ &= \frac{117,16}{26,22} \\ &= 4,46 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

d. Setting 3500 Rpm

$$\begin{aligned} &= \frac{(2,9)^4}{\left[\frac{(2,8)^4}{(4)} + \frac{(0,52)^4}{(50)} + \frac{(0,29)^4}{(50)} + \frac{(0,6)^4}{(50)} \right]} \\ &= \frac{(70,72)}{\left[\frac{(61,46)}{(4)} + \frac{(0,073)}{(50)} + \frac{(0,0070)}{(50)} + \frac{(0,129)}{(50)} \right]} \\ &= \frac{70,72}{15,38} \\ &= 4,59 \text{ Rpm} \end{aligned}$$

e. Setting 4000 Rpm

$$= \frac{(2,1)^4}{\left[\frac{(1,9)^4}{(4)} + \frac{(0,6)^4}{(50)} + \frac{(0,29)^4}{(50)} + \frac{(0,6)^4}{(50)} \right]}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(19,44)}{\left[\frac{(15,06)}{(4)} + \frac{(0,129)}{(50)} + \frac{(0,0070)}{(50)} + \frac{(0,129)}{(50)} \right]} \\
&= \frac{19,44}{3,27} \\
&= 5,94 \text{ Rpm}
\end{aligned}$$

Tabel 5.13 Derajat Kebebasan Efektif

No	Setting Pada Alat (RPM)	Derajat Kebebasan Efektif (Veff)
1	2000	4,31
2	2500	4,58
3	3000	4,46
4	3500	4,59
5	4000	5,94

Hasil analisa data Pengukuran derajat kebebasan efektif. Pengukuran derajat kebebasan efektif (Veff) adalah penggabungan Pengukuran dari analisa Ketidakpastian Tipe A, Tipe B, derajat kebebasan,

Dan gabungan.pengukuran derajat kebebasan efektif berada pada rentang (4,31 – 5,94).

5.6.15 Dan tabel T-Student nilai K diperoleh nilai 2,36

Tabel 5.14 T-student nilai K diperoleh nilai 2,36

No	Derajat Kebebasan Efektif	Plote Ke Tabel T-Student
1	4,31	2.13
2	4,58	2,13
3	4,46	2,13
4	4,59	2,13
5	5,94	2.01

5.6.16 Ketidakpastian Bentangan

a. Setting 2000 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= K \times U_c \\ &= 2,13 \times 2,6 \\ &= 5,53 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

b. Setting 2500 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= K \times U_c \\ &= 2,13 \times 2,69 \\ &= 5,72 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

c. Setting 3000 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= K \times U_c \\ &= 2,13 \times 3,29 \\ &= 7,0 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

d. Setting 3500 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= K \times U_c \\ &= 2,13 \times 2,9 \\ &= 6,17\end{aligned}$$

e. Setting 4000 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= K \times U_c \\ &= 2,01 \times 2,1 \\ &= 4,22 \text{ Rpm}\end{aligned}$$

Tabel 5.15 Ketidakpastian Bentangan

No	Setting Pada Alat (Rpm)	Hasil Ketidakpastian Bentangan (Rpm)
1	2000	5,33
2	2500	5,72
3	3000	7,0
4	3500	6,17
5	4000	4,22

5.6.17. Hasil Pengukuran Untuk Kalibrasi

- a. Hasil pengukuran untuk kalibrasi putaran 2000 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= \bar{X} \pm U_{\text{exp}} \\ &= (2011,6 \pm 5,33) \text{ Rpm}\end{aligned}$$

- b. Hasil pengukuran untuk kalibrasi putaran 2500 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= \bar{X} \pm U_{\text{exp}} \\ &= (2011,6 \pm 5,72) \text{ Rpm}\end{aligned}$$

- c. Hasil pengukuran untuk kalibrasi putaran 3000 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= \bar{X} \pm U_{\text{exp}} \\ &= (2011,6 \pm 7,0) \text{ Rpm}\end{aligned}$$

- d. Hasil pengukuran untuk kalibrasi putaran 3500 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= \bar{X} \pm U_{\text{exp}} \\ &= (2011,6 \pm 6,77) \text{ RPM}\end{aligned}$$

- e. Hasil pengukuran untuk kalibrasi putaran 4000 Rpm

$$\begin{aligned}U_{\text{exp}} &= \bar{X} \pm U_{\text{exp}} \\ &= (2011,6 \pm 4,22) \text{ Rpm}\end{aligned}$$

Tabel 5.16 Hasil Akhir Pengukuran

No	Setting Pada Alat (RPM)	Pengukuran Rata-rata (RPM)	Standar Deviasi (RPM)	Ketidakpastian Berulang Tipe A (RPM)	Ketidakpastian Tachometer (RPM)	Ketidakpastian Gabungan (RPM)	Ketidakpastian Derajat Kebebasan Efektif	Ketidakpastian bentangan (RPM)
1	2000	2011.6	5,7	2,55	0,30	2,8	4,31	5,33
2	2500	2512.2	6,0	2,6	0,37	2,87	4,58	5,72
3	3000	3014,8	7,3	3,2	0,45	3,43	4,46	7,0
4	3500	3512.8	6,3	2,8	0,52	3,06	4,59	6,17
5	4000	4008,8	4,3	1,9	0,6	2,31	5,94	4,22

5.7 Akurasi Waktu Putar

5.7.1. Ketidakpastian Tipe A

Tabel 5.17 Hasil 3 kali uji coba

Setting Pada Alat	Terukur		
	1	2	3
Akurasi Waktu Putar Pada Waktu 5 Menit	5,02	5,03	5,03

5.7.2. Menghitung Nilai Rata-Rata

Menghitung rata rata adalah menjumlah banyak data pengukuran yang diperoleh dan di bagi jumlah data tersebut (pengukuran berulang)

a. Menghitung Nilai Rata-rata (Mean)

$$\bar{X} = \frac{t1+t2+t3}{n}$$

Dimana :

t : 5 Menit
t1 : 301,2
t2 : 301,8
t3 : 301,8
n : Banyaknya Data
Menghitung nilai rata-rata

$$\bar{X} = \frac{t1+t2+t3}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{301,2+301,8+301,8}{3}$$

$$= \frac{904,8}{3}$$

$$= 301,6 \text{ Detik}$$

b. Menghitung Standar Deviasi

$$SD = \sqrt{\frac{(Xi-\bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(300-301,6)^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(-1,6)^2}{2}}$$

$$= \sqrt{\frac{2,56}{2}}$$

$$= \sqrt{1,28}$$

$$= 1,13 \text{ Detik}$$

$$U_{pb} = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{1,13}{\sqrt{3}} = \frac{1,13}{1,73}$$

$$= 0,65 \text{ Detik}$$

$$V_{pb} = n - 1$$

$$= 3 - 1$$

$$= 2$$

5.7.3. Ketidakpastian Tipe B

5.7.3.1 Ketidakpastian pengukuran waktu (Timer)

$$U_{\text{Timer}} = \frac{U \text{ sertifikat}}{\text{Faktor Cakupan}}$$

$$= \frac{0,7}{2}$$

$$= 0,35 \text{ Detik}$$

$$\text{Derajat } U_{\text{timer}} = \frac{1}{2} \left(\frac{100}{R} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{10} \right)^2$$

$$= 50$$

5.7.3.2 Ketidakpastian dari daya baca (resolusi) waktu pada timer

Dari spesifikasi timer diketahui resolusi 0,01 detik maka,

$$U_{\text{db}} = \frac{1 \text{ Resolusi Timer}}{2 \sqrt{3}}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}(0,01)}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{0,05}{1,7}$$

$$= 0,02 \text{ Detik}$$

Derajat kebebasan

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{R} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{10} \right)^2$$

$$= 50$$

5.7.4 Ketidakpastian Drift Timer

$$\begin{aligned}U_{\text{Drift}} &= \frac{\text{ketidakpastian terbesar} \times 1/10}{\sqrt{3}} \\&= \frac{1,13 \times 1/10}{\sqrt{3}} \\&= \frac{0,011}{\sqrt{3}} \\&= \frac{0,011}{1,7} \\&= 0,006 \text{ Detik}\end{aligned}$$

Derajat kebebasan

$$\begin{aligned}&= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{R} \right)^2 \\&= \frac{1}{2} \left(\frac{100}{10} \right)^2 \\&= 50\end{aligned}$$

5.7.5 Ketidakpastian Gabungan

$$\begin{aligned}U_c &= \sqrt{(U_{pb})^2 + (U_{timer})^2 + (U_{dbtimer})^2 + (U_{driftstandar})^2} \\&= \sqrt{(0,65)^2 + (0,35)^2 + (0,02)^2 + (0,006)^2} \\&= \sqrt{0,549} \\&= 0,74 \text{ Detik}\end{aligned}$$

5.7.6 Ketidakpastian Derajat Efektif (Veff)

$$V_{\text{eff}} = \frac{(U_c)^4}{\left[\frac{(U_{pb})^4}{(V_{pb})} + \frac{(U_{timer})^4}{(V_{tac})} + \frac{(U_{db})^4}{(V_{db})} + \frac{(U_{drift})^4}{(V_{tac})} \right]}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(0,74)^4}{\left[\frac{(0,65)^4}{(4)} + \frac{(0,35)^4}{(50)} + \frac{(0,02)^4}{(50)} + \frac{(0,006)^4}{(50)} \right]} \\
&= \frac{(0,29986)}{\left[\frac{(0,17850)}{(4)} + \frac{(0,01500)}{(50)} + \frac{(0,000016)}{(50)} + \frac{(0,00000013)}{(50)} \right]} \\
&= \frac{0,29986}{0,04430} \\
&= 6,7 \text{ Detik}
\end{aligned}$$

5.7.7 Ketidakpastian Bentangan

$$\begin{aligned}
U_{\text{exp}} &= K \times U_C \\
&= 1,89 \times 0,74 \\
&= 2,55 \text{ Detik}
\end{aligned}$$

5.7.8 Hasil Pengukuran Akurasi Waktu

$$\begin{aligned}
U_{\text{exp}} &= \bar{X} \pm U_{\text{exp}} \\
&= (301,6 \pm 2,55) \text{ Detik}
\end{aligned}$$

Tabel 5.18 Hasil Pengukuran Waktu

No	Pembacaan Alat (detik)	Pengukuran Rata-rata (detik)	Standar Deviasi (detik)	Ketidakpastian Berulang Tipe A (detik)	Ketidakpastian Timer (detik)	Ketidakpastian Gabungan (detik)	Ketidakpastian Derajat Kebebasan Efektif	Ketidakpastian bentangan (detik)
1	300	301,6	1,13	0,65	0,006	0,74	6,7	2,55

DAFTAR PUSTAKA

- Andrian Ryan Pratama 2017, *Alat Kalibrasi Centriduges Non Contact Menggunakan Microcontroller Atmega 8*, Skripsi, Universitas Muhamadiyah , Yogyakarta
- Cook, R R, Giardini, W J, Guide To The ISO Guide To The Expression Of Uncertainty In Measurement, CSIRO-NML 1993
- Cook, R R, Assessment Of Uncertainty Of Measurement For Calibration And Testing Laboratories, 1998
- Djonosaputro, B Darmawan., 1984, *Teori Ketidakpastian Menggunakan SI* , Penerbit ITB Bandung
- EA-4/02 Expression Of The Uncertainty Of Measurement In Calibration, European Accreditation, 1999
- EURACHEM/CITAC Guide Quantifying Uncertainty In Analytical Measurement, 2000
- ISO Guide To The Expression Of Uncertainty In Measurement, 1993, International Organization For Standardization, Geneva, Switzerland
- ISO/IEC 17025 General Requirements For The Competence Of Testing And Calibration Laboratories, First Edition, 1999
- International Vocabulary Of Basic And General Terms In Metrology, 1993
- Kan Guide On The Evaluation And Expression Of Uncertainty In Measurement, Edition Second, Komite Akreditasi Nasional, 2008
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 54 Tahun 2015 Tentang Pengujian Dan Kalibrasi Alat Kesehatan

KIM LIPI., 2016, *Defenisi Kalibrasi*, Pusat Penelitian Metrologi, Tangerang.

LIPI., 2016, *Ketidakpastian Pengukuran*, Pusat Penelitian Metrologi, Tangerang.

Spesifikasi Tachometer <https://Lutron.Id/Shop/Tachometer/Tachometers-Lutron-Dt-2236/>

SNI-19-17025-2000 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Penguji Dan Kalibrasi, 2000

SAC-SINGLAS Technical Guide 1, Guidelines Of The Evaluation And Expression Of Measurement Uncertainty, 2nd Edition, 2001

SAC-SINGLAS Technical Guide 2, Guidelines Of The Evaluation And Expression Of Uncertainty In Chemical Analysis, 1st Edition, 2000

Taylor, B N, Kuyatt, C E, Guideline For Evaluating And Expressing The Uncertainty Of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297, 1993

TENTANG PENULIS



Hotromasari Dabukke, AMd. Tem, S.Si., M.Si Lulus kuliah di program studi Teknik Elektromedik di Akademi Teknik Elektromedik Pada Tahun 2013. Pada tahun 2015 saya lulus Sarjana di Universitas Sumatera Utara Jurusan Fisika Medis. Pada tahun 2018 saya lulus Magister di Universitas Sumatera Utara jurusan Ilmu Fisika. Saat ini Saya dosen tetap di Universitas Sari Mutiara Indonesia Medan Program Studi D3 Teknologi Elektro-medis. Saya mengampu mata kuliah Peralatan Diagnostik, Dasar Kalibrasi Peralatan Kesehatan dan Fisika Dasar. Mempelajari ketekikan dari peralatan kesehatan sangat menarik dikarenakan di fokuskan Teknik khusus alat kesehatan yang digunakan di pelayanan kesehatan. Alat kesehatan di rumah sakit begitu banyak dan di butuhkan standart operasiaonal prosedur untuk menjaga keselamatan penguanaa peralatan kesehatan. Selain itu kalibrasi sangat diutamakan karna untuk menentukan layak atau tidak layaknya digunakan peralatan dalam pelayanan.



Berkat Panjaitan, S. Si, M. Pd Lulus kuliah di program studi Fisika Universitas Negeri Medan Pada Tahun 2013. Pada tahun 2015 saya lulus Pascasarjana di Universitas Negeri Medan Jurusan Pendidikan Fisika. Pada tahun 2019 menjadi kandidat doctor untuk program studi Manajemen Pendidikan di Universitas Negeri Medan sampai saat ini.

Saya dosen tetap di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Binalita Sudama Medan Program Studi D3 Teknologi Elektro-medis. Saya mengampu mata kuliah Fisika Dasar, Fisika Lanjut, Statistik dan Metode Riset, Metodologi Penelitian, IDK (Fisika Kesehatan). Mata kuliah Kalibrasi merupakan turunan dari materi pengukuran dalam ilmu fisika. Pengukuran merupakan salah satu kewajiban yang harus diketahui untuk memperdalam ilmu fisika.



Sri Ulina MT, Lahir di Medan, 2 Mei 1994. Telah lulus pendidikan dari S1 Teknik Elektro tahun 2018 dari Universitas Pembangunan Panca Budi Medan dan pendidikan Magister bidang Teknik Elektro 2022 dari Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Kegiatan sekarang menjadi tenaga pengajar sebagai. Dosen di Perguruan Tinggi Universitas Sari Mutiara Indonesia, Akademi Teknik Deli Serdang, dan Institut Sains&Teknologi TD Pardede di Medan dan bertempat tinggal di Medan, Sumatera Utara.