# ANALISIS KALIBRASI INSTRUMEN MERCURY SPHYGMOMANOMETER MENGGUNAKAN DPM4-1G METODE OIML R16

**SKRIPSI**

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains**
**Dalam bidang Fisika**


Oleh:
**JANSEN PARLAUNGAN**
**0710932002**



**JURUSAN FISIKA**
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**
**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**
**MALANG**

**2009**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**ANALISIS KALIBRASI INSTRUMEN MERCURY SPHYGMOMANOMETER MENGGUNAKAN DPM4-1G METODE OIML R16**

Oleh :
**JANSEN PARLAUNGAN**
**0710932002**

**Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji**
**Pada tanggal .....**
**Dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar**
**Sarjana Sains dalam bidang fisika**

| Pembimbing I | Pembimbing II |
|---|---|
| **Dr.Ing. Setyawan P.S. M. Eng.** | **Chomsin S. Widodo S.si.MSi** |
| **NIP. 131 879 401** | **NIP. 132 135 218** |

**Mengetahui,**
**Ketua Jurusan Fisika**
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Drs. Adi Susilo, Msi, PhD**
**NIP. 131 447 960**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Jansen Parlaungan
NIM : 0710932002
Jurusan : Fisika
Penulis Tugas Akhir berjudul : **"ANALISIS KALIBRASI INSTRUMEN MERCURY SPHYGMOMANOMETER MENGGUNAKAN DPM4-1G METODE OIML R16 "**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar hasil karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam Daftar Pustaka skripsi ini, semata-mata digunakan sebagai acuan atas referensi.
2. Apabila dikemudian hari ternyata isi dari skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan , maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Agustus 2009
Yang menyatakan,

(Jansen Parlaungan)
NIM. 0710932002

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# ANALISIS KALIBRASI INSTRUMEN MERCURY SPHYGMOMANOMETER MENGGUNAKAN DPM4-1G METODE OIML R16

## ABSTRAK

Pada sebuah riset, ditemukan bahwa banyak sphygmomanometer mercury sudah tidak layak pakai karena kondisi fisiknya. Kondisi fisik sphygmomanometer mercury sangat mempengaruhi hasil pengukuran tekanan darah. Karena hasil pengukuran dari sphygmomanometer sangat penting dalam membantu diagnosa, maka data yang dihasilkan dari alat tersebut harus mempunyai keakuratan yang tinggi. Kenyataan sekarang ini bila tekanan darah kita diukur dengan sphygmomanometer hasilnya berbeda-beda antara tempat yang satu dengan tempat yang lain.

Untuk mengetahui kelayakan spygmomanometer mercury, dapat dilakukan dengan menganalisa hasil kalibrasi menggunakan metode OIML R16 yang akan mendapat nilai ketidakpastian dan nilai koreksi. Dari analisis hasil kalibrasi terlihat bahwa kalibrasi sphygmomanometer menggunakan metode OIML R16 mempunyai nilai koreksi lebih kecil yaitu -1.81mmHg sampai dengan 0.7mmHg (nilai koreksinya tidak lebih dari ±3mmHg) sehingga masih layak digunakan. Nilai ketidakpastian pengukuran untuk sphygmomanometer yang menggunakan metode OIML R16 lebih kecil sebesar ±7mmHg.

Kata kunci : ***Kalibrasi, Koreksi, Ketidakpastian***

# CALIBRATION ANALYSIS OF MERCURY SPHYGMOMANOMETER INSTRUMENT USING DPM4-1G OIML R16 METHOD

## ABSTRACT

In one research, it is found that many mercury sphygmomanometer is unreasonably to be used due to it physical condition. The physical condition of mercury sphygmomanometer is influencing the result of blood pressure measurement very much. Since the measurement result of sphygmomanometer is very important to aid the diagnostic, the produced data must have high accuracy. The present fact is if our blood pressure measured by sphygmomanometer, hence its results is varying among one another place.

To know the feasibility of mercury sphygmomanometer, it can be done by analyzing calibration used method OIML-R16 result that would be produced uncertainty value and correction value, and also by analyzing its reliability. From the analysis of calibration result, it seems that that calibrating sphygmomanometer use method OIML R16 have smaller corrective value that is -1.81mmHg up to 0.7mmHg ( assess correction at the most ± 3 mmHg) so that still be used competent. Assess measurement uncertainty for sphygmomanometer using smaller method OIML R16 equal to ± 7mmHg.

Keywords: ***calibration, measured uncertainty, correction value***

# KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul:

**ANALISIS KALIBRASI INSTRUMEN MERCURY SPHYGMOMANOMETER MENGGUNAKAN DPM4-1G METODE OIML R16**

Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat memperoleh gelar sarjana dalam program S-1 Fisika Medis pada Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Dalam pelaksanan penelitian dan sampai terselesainya skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari semua pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Adi Susilo, PhD selaku Ketua jurusan Fisika, Fakultas MIPA,Universitas Brawijaya
2. Bapak Dr. Ing. Setyawan P.S. M.Eng selaku dosen pembimbing pertama yang telah memberikan masukan dan pertimbangan yang sangat berarti
3. Bapak Chomsin S. Widodo S.si. MSi selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan masukan dan pertimbangan yang sangat berarti
4. Seluruh dosen pengajar di jurusan Fisika Universitas Brawijaya atas ilmu yang telah diberikan kepada Penulis selama ini
5. Seluruh staf jurusan Fisika atas bantuan administrasinya
6. Pimpinan dan staf Instalasi Pemeliharaan Sarana Rumah Sakit (IPSRS) Dr. Saiful Anwar Malang, Pak Ahmad Nasution, Kak Elida Siregar, Mbak Del, Mas Hanif atas saran dan bantuan informasinya
7. Rekan-rekan SAP Fisika Medis 2007, Pak Surip, Ibu Deni, Pak Martono
8. Ibunda tercinta, kakak serta adik-adikku yang sudah memberikan dukungan dan semangat sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi, walau kalian jauh di Sulawesi
9. Rekan-rekan kerja BRSU. Anutapura Kota Palu atas dukungannya

10. Teman-teman kost KWX United dalam semangat dan motivasi
11. Pihak-pihak lain yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi, yang tidak dapat disebutkan satu persatu

Disadari penulis bahwa dalam penyusunan skripsi ini belum sepenuhnya sempurna sehingga kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan untuk perbaikan yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekalian.Amin.

Malang, Agustus 2009

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... i
LEMBAR PENGESAHAN ..... iii
LEMBAR PERNYATAAN ..... v
ABSTRAK/ABSTRACT ..... vii
KATA PENGANTAR ..... ix
DAFTAR ISI ..... xi
DAFTAR TABEL ..... xiii
DAFTAR GAMBAR ..... xiv
DAFTAR LAMPIRAN ..... xv
DAFTAR GRAFIK ..... xvi

**BAB I PENDAHULUAN**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Perumusan Masalah ..... 2
1.3 Batasan Masalah. ..... 2
1.4 Tujuan Penelitian ..... 3
1.5 Manfaat Penelitian ..... 3

**BAB II TINJAUAN PUSTAKA**
2.1 Sejarah pengukuran tekanan darah ..... 5
2.2 Sistem aliran darah ..... 8
2.2.1 Hemodinamika ..... 9
2.2.2 Aliran Darah dan Curah Jantung ..... 10
2.2.3 Tekanan pada Pembuluh Darah ..... 12
2.2.4 Hubungan antara Tekanan Darah dan Aliran Darah ..... 13
2.3 Sphygmomanometer Mercury ..... 14
2.4 Pengukuran Tekanan Darah Menggunakan Sphygmomanometer Mercury ..... 18
2.4.1 Cara Pengukuran Langsung dengan alat yang Bereaksi Cepat ..... 19
2.4.2 Pengukuran Tekanan Sistolik dan Diastolik Secara Tidak Langsung ..... 19
2.4.3 Bunyi Korotkoff ..... 22
2.5 Kalibrasi ..... 24
2.5.1 Ketidakpastian ..... 25
2.5.2 Probability Distribution ..... 28

**BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian ..... 31
3.2 Peralatan kalibrasi Sphygmomanometer Mercury 31
A. Sphygmomanometer Mercury ..... 31
B. Thermohygrometer ..... 32
C. DPM4-1G (DPM=Digital Pressure Meter)..... 32
3.3. Prosedure Kalibrasi ..... 33
A. Prosedure Prakalibrasi dan Kalibrasi..... 33
B. Menentukan Nilai Koreksi..... 38
C. Menentukan Nilai Ketidakpastian..... 38

**BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Data Hasil Pengujian..... 45
4.2 Perhitungan Koreksi..... 47
4.3 Perhitungan Ketidakpastian ..... 49
4.3.1 Analisis tipe A ..... 49
4.3.2 Analisis tipe B ..... 55
4.3.3 Ketidakpastian Kombinasi..... 56
4.3.4 Derajat Kebebasan efektif ..... 59
4.3.5 Ketidakpastian Bentangan..... 61
4.4 Pembahasan..... 62

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan ..... 67
5.2 Saran..... 68
**DAFTAR PUSTAKA** ..... 69
**LAMPIRAN**..... 71

# DAFTAR TABEL


| | | |
|---|---|---|
| Tabel 2.1 | Klasifikasi tekanan darah untuk dewasa berumur 18 tahun dan lebih..... | 18 |
| Tabel 2.2 | Rekomendasi dimensi blader untuk cuff tekanan darah..... | 21 |
| Tabel 4.1 | Faktor Koreksi..... | 47 |
| Tabel 4.2 | Data hasil perhitungan koreksi pengukuran naik sphygmomanometer 1 ..... | 48 |
| Tabel 4.3 | Data hasil perhitungan koreksi pengukuran turun sphygmomanometer 1 ..... | 48 |
| Tabel 4.4 | Hasil perhitungan standart deviasi pengukuran naik ..... | 50 |
| Tabel 4.5 | Standart deviasi pengukuran naik sphygmomanometer 1 (50) ..... | 51 |
| Tabel 4.6 | Hasil perhitungan standart deviasi pengukuran turun ..... | 51 |
| Tabel 4.7 | Hasil perhitungan ESDM pengukuran naik ..... | 52 |
| Tabel 4.8 | Hasil perhitungan ESDM pengukuran turun ..... | 52 |
| Tabel 4.9 | Standart deviasi pengukuran naik Sphygmomanometer 1 pada titik 50..... | 53 |
| Tabel 4.10 | Hasil perhitungan Ketidakpastian SSR pengukuran naik..... | 54 |
| Tabel 4.11 | Hasil perhitungan Ketidakpastian SSR pengukuran turun..... | 55 |
| Tabel 4.12 | Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk spygmomanometer 1..... | 57 |
| Tabel 4.13 | Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk spygmomanometer 1..... | 57 |
| Tabel 4.14 | Hasil perhitungan Veff untuk nilai k untuk pengukuran naik..... | 60 |
| Tabel 4.15 | Hasil perhitungan Veff untuk nilai k untuk pengukuran turun..... | 60 |
| Tabel 4.16 | Nilai ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) pengukuran naik untuk Sphygmomanometer 1 | 61 |
| Tabel 4.17 | Nilai ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) pengukuran turun untuk Sphygmomanometer 1 | 61 |
| Tabel 4.17 | Tabel perbandingan hasil analisa OIML R16 | 61 |

# DAFTAR GAMBAR


| | | |
|---|---|---|
| Gambar 2.1 | Pengukuran tekanan darah kuda oleh Reverend Stephen hales..... | 5 |
| Gambar 2.2 | Kymograpd ludwig..... | 6 |
| Gambar 2.3 | Ilustrasi hubungan gaya dan kecepatan..... | 11 |
| Gambar 2.4 | Ilustrasi Hubungan gaya dan kecepatan..... | 11 |
| Gambar 2.5 | Sphygmomanometer Mercury..... | 14 |
| Gambar 2.6 | Bagian dari sphygmomanometer mercury..... | 15 |
| Gambar 2.7 | Cara mengukur tekanan darah menggunakan sphygmomanometer..... | 20 |
| Gambar 2.8 | Ilustrasi lima tahap pada bunyi korottkof..... | 24 |
| Gambar 2.9 | Distribusi Persegi Empat..... | 28 |
| Gambar 2.10 | Distribusi Segitiga..... | 29 |
| Gambar 2.11 | Distribusi Normal (Gaussian Distribution)..... | 29 |
| Gambar 3.1 | Sphygmomanometer mercury..... | 32 |
| Gambar 3.2 | Termohygrometer..... | 32 |
| Gambar 3.3 | DPM4-1G (DPM=Digital Pressure Meter)..... | 32 |
| Gambar 3.4 | Instalasi kalibrasi sphygmomanometer..... | 34 |
| Gambar 3.5 | Alur metode OIML R16..... | 37 |
| Gambar 3.6 | Bagan ketidakpastian..... | 42 |
| Gambar 3.7 | Bagan metodologi penelitian..... | 43 |

DAFTAR LAMPIRAN


| | | |
|---|---|---|
| Lampiran 1 | Data perhitungan koreksi sphygmomanometer metode OIML R16..... | 71 |
| Lampiran 2 | Nilai ketidakpastian kombinasi metode OIML R16..... | 77 |
| Lampiran 3 | Nilai ketidakpastian bentangan metode OIML R16..... | 83 |
| Lampiran 4 | Grafik hubungan koreksi dengan setting metode OIML R16..... | 89 |
| Lampiran 5 | Grafik hubungan Uexp dengan setting metode OIML R16..... | 95 |
| Lampiran 6 | Gambar penulis melakukan kalibrasi sphygmomanometer mercury dan gambar DPM4-1G..... | 101 |

DAFTAR GRAFIK


| | | |
|---|---|---|
| Grafik 1 | Hubungan koreksi dengan setting pada Sphygmomanometer 1..... | 62 |
| Grafik 2 | Hubungan $U_{exp}$ dengan setting pada Sphygmomanometer 1..... | 63 |

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tuntutan masyarakat terhadap mutu pelayanan kesehatan yang semakin meningkat mengharuskan setiap instrumen medis dapat menghasilkan hasil keluaran pengukuran yang menjamin nilai benar dari skala ukur dan mempunyai keakuratan yang tinggi. Oleh karena itu, setiap instrumen medis perlu dikalibrasi terhadap suatu standar skala ukur acuan sehingga kesalahan diagnosa dan kecemasan akibat hasil pengukuran yang kurang tepat pada pasien dapat dihindari.

Hampir semua dokter dan perawat di rumah sakit menggunakan instrumen sphygmomanometer atau yang biasa disebut tensimeter. Instrumen tensimeter ini adalah sebuah pengukur tekanan darah yang merupakan acuan oleh seorang dokter dalam mendiagnosa kondisi pasien atau perawat untuk memutuskan perawatan yang tepat bagi pasiennya.

Tekanan darah yang diukur, meliputi tekanan maksimum ketika jantung memompa (tekanan sistolik) dan tekanan ketika jantung beristirahat (tekanan diastolik). Pada awalnya tekanan udara pada manset dinaikkan tinggi diatas tekanan sistolik dengan pompa tangan, dan tekanan ini memompa arteri utama (brachial artery) di lengan dan memotong aliran darah. Tekanan udara kemudian diperkecil perlahan-lahan sampai titik di mana darah kembali mulai mengalir ke tangan, hal ini dideteksi dengan mendengarkan karakteristik ketukan darah yang kembali ke lengan bawah dengan stetoskop. Pada saat ini tekanan sistolik sama dengan tekanan udara pada manset yang bisa dibaca pada alat ukur. Tekanan udara kemudian diperkecil lebih lanjut dan suara ketukan menghilang ketika darah dengan tekanan rendah dapat memasuki arteri. Pada saat ini alat ukur menunjukkan tekanan diastolik. Tekanan di mana dokter pertama kali dengar denyut dari arteri adalah tekanan sistolik (angka bagian atas) dan penurunan tekanan manset lebih lanjut dimana denyut akhirnya berhenti adalah tekanan diastolik (angka bagian bawah).Tekanan sistolik

normal sekitar 120 mm-Hg, sementara tekanan diastolik normal sekitar 80 mm-Hg (Ruslan Hani, Ahmadi, 2007).

Karena hasil pengukuran dari instrumen sphygmomanometer sangat penting dalam membantu diagnosa dokter atas kondisi pasien, maka data yang dihasilkan dari alat tersebut harus mempunyai keakuratan yang tinggi. Kenyataannya bila tekanan darah kita diukur dengan sphygmomanometer hasilnya berbeda-beda antara tempat yang satu dengan tempat yang lain. Untuk menjamin nilai benar skala ukur alat sphygmomanometer, maka alat tersebut perlu dikalibrasi.

Kalibrasi terhadap sphygmomanometer sangat diperlukan supaya hasil keluaran dari alat tersebut mempunyai keakurasian yang baik sehingga hasil pengukurannya dapat lebih terjamin. Apabila sphygmomanometer tidak dikalibrasi pada jangka waktu tertentu, kemungkinan alat tersebut akan mempunyai keakurasian yang rendah yang menyebabkan data yang dihasilkan tidak sesuai dengan yang sebenarnya. Keunggulan dari kalibrasi terhadap sphygmomanometer atau yang biasa disebut tensimeter adalah hasil keluaran pengukurannya dapat lebih terjamin dan mempunyai keakuratan yang tinggi. Hal ini dapat lebih membantu diagnosa dokter atas kondisi pasien.

## 1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan diselesaikan pada tugas akhir ini adalah :

Bagaimana memperoleh nilai koreksi dan nilai ketidakpastian dari hasil kalibrasi instrumen sphygmomanometer mercury kemudian dapat digunakan untuk menetukan apakah instrumen tersebut masih layak untuk digunakan atau tidak.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari pelebaran masalah dari tugas akhir ini, maka diberikan batasan masalah untuk memfokuskan tugas akhir ini. Batasan masalahnya adalah sebagai berikut :

- Data yang diperoleh berasal dari proses kalibrasi sphygmomanometer mercury.
- Instrument standart yang digunakan dalam proses kalibrasi adalah DPM4-1G.

- Metode kalibrasi mengacu pada OIML R16.
- Simpangan pengukuran tekanan darah yang diperbolehkan menurut OIML R16 dari spygmomanometer mercury adalah ± 3 mmHg.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menganalisa dan menentukan nilai koreksi dan nilai ketidakpastian dari data yang diperoleh dalam proses kalibrasi spygmomanometer mercury. Proses kalibrasi ini sendiri bertujuan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat ukur dengan cara membandingkan dengan metode yang menjadi acuan yaitu metode OIML R16.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai acuan untuk menganalisa hasil pengukuran keluaran instrumen spygmomanometer mercury atau tensimeter apakah instrumen tersebut masih layak digunakan atau tidak melalui proses kalibrasi setelah diketahui nilai penyimpangan pengukuran tekanan darah pada instrumen spygmomanometer mercury atau tensimeter serta dapat menjaga kondisi instrument ukur agar tetap sesuai dengan spesifikasinya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Sejarah Pengukuran Tekanan Darah

Ahli fisika Yunani pada jaman kuno Galen adalah yang pertama kali mengusulkan keberadaan darah pada tubuh manusia. Berasal dari ide Hippocrates, bahwa tubuh terdiri dari tiga sistem. Otak dan syaraf bertanggung jawab terhadap rasa dan pikiran. Darah dan nadi mengisi tubuh dengan energi untuk hidup. Hippocrates juga percaya bahwa hati dan pembuluh darah menyediakan nutrisi untuk tubuh dan pertumbuhan.

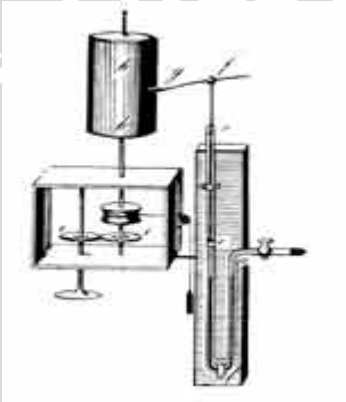
Sampai dengan tahun 1616 ketika Wiliam Harvey mengumumkan bahwa Galen salah dengan pernyataannya bahwa jantung secara konstan menghasilkan darah. Bahkan dia mengusulkan bahwa sejumlah darah yang terbatas diedarkan pada tubuh hanya pada satu arah. Tapi pandangan Harvey menemui banyak hambatan dan pikiran yang berlainan. Ide bahwa darah tidak secara konstan dihasilkan pada tubuh menyebabkan keraguan tentang manfaat bloodletting, sebuah kegiatan medik yang populer pada saat itu.

Wiliam Harvey bukan satu-satunya ataupun yang pertama mempertanyakan ide Galen. Orang-orang Mesir tahu bahwa darah mengalir pada tubuh dan digunakan lintah untuk menghentikan jalannya darah.

Gambar 2.1 Pengukuran tekanan darah kuda oleh Reverend Stephen hales

Catatan pertama dari pengukuran tekanan darah adalah pada tahun 1733 oleh Reverend Stephen Hales. Seorang peternak

Inggris, Hales selam bertahun-tahun mencatat tekanan darah binatang. Lima belas tahun sebelumnya, dia menggambil seekor kuda dan memasukkan sebuah pipa kuningan pada nadi kuda tersebut. Pipa kuningan ini dihubungkan dengan tabung kaca. Hales mengamati darah pada pipa naik dan disimpulkan bahwa hal ini berhubungan dengan tekanan pada darah. Pada saat ini teknik tersebut invasive (langsung) dan tidak sesuai untuk digunakan pada dunia medis.



Gambar 2.2 Kymograpd ludwig

Sampai pada tahun 1847 dimana tekanan darah manusia mulai dicatat. Metode menggunakan kymograph Carl Ludwig dengan catheter terdiri dari tabung manometer bentuk U yang dihubungkan pada sebuah pipa cannula kaca ke nadi. Tabung manometer mempunyai gading yang mengapung dimana satu tangkai dengan bulu ayam dipasang pada tangkai tersebut. Bulu ayam ini disket pada putaran drum yang dinamakan “kymograph”, di Yunani disebut “penulis gelombang”. Bagaimanapun tekanan darah hanya dapat diukur dengan invasive (langsung).

Ketiadaan metode non invasive menentukan ide baru dari petunjuk tekanan darah pada semua ahli fisika yang bekerja pada bidang ini sekitar tahun 1860. Sphymographnya dapat mengukur pulsa rata-rata secara teliti, tetapi sangat tidak bisa dipercaya dalam menentukan tekanan darah. Sebelumnya, desain ini pertama kali dapat digunakan secara klinis dengan derajat kesuksesan yang kecil.

Pada tahun 1881, Samuel Karl Ritter Von Basch menemukan sphygmomanometer. Peralatannya terdiri dari sebuah tas yang telah diisi air yang dihubungkan kemanometer. Manometer digunakan untuk menentukan tekanan yang diperlukan untuk menghapuskan pulsa nadi. Pengukuran langsung dari tekanan darah dengan catheterization ditetapkan bahwa desain Van Basch akan mengijinkan metode non-invasive untuk mengukur tekanan darah. Merasakan pulsa pada kulit diatas nadi, digunakan untuk menentukan kapan pulsa nadi hilang.

Pada saat itu desain Von Basch tidak memperoleh banyak dukungan, banyak ahli fisikawan pada saat itu ragu-ragu pada teknologi baru, mengakui bahwa hal tersebut dapat menggunakan ide tradisional tentang diagnosa. Sebagai tambahan, banyak dipertanyakan kegunaan medis dari informasi tentang tekanan darah. Hal ini tidak menghentikan usaha dari beberapa orang untuk menghasilkan peralatan yang lebih berguna.

Scipione Riva-Rocci mengembangkan sphygmomanometer mercury tahun 1986. Desain ini merupakan prototype dari sphygmomanometer mercury modern. Sebuah cuff dapat dikembangkan dengan ditempatkan dilengan atas untuk menghentikan nadi tangan. Cuff dihubungkan ke manometer glass yang diisi mercury untuk mengukur tekanan yang digunakan pada lengan.

Sphygmomanometer Riva-Rocci dilihat oleh American neurosurgeon Harvey Cushing sementara dia keliling Italia. Melihat adanya potensi keuntungan dia kembali ke Amerika dengan desainnya pada tahun 1901. Setelah desain tersebut dimodifikasi untuk kegunaan klinik yang lebih, sphygmomanometer menjadi hal yang biasa.

Sphygmomanometer ini dapat digunakan hanya untuk menentukan tekanan darah sistolik. Penelitian hilangnya pulsa via debaran hanya dapat diijinkan untuk pengukuran fisika untuk menentukan titik ketika nadi benar-benar mengerut. Nikolao Korotkoff adalah yang pertama kali meneliti suara yang dihasilkan oleh pengerutan pada tahun 1905. korotkoff menemukan bahwa terdapat karakteristik suara pada titik-titik tertentu pada pemompaan dan pengempisan cuff. Bunyi korotkoff ini disebabkan oleh lewatan yang tidak normal dari darah pada nadi, berhubungan dengan sistolik dan diastolik tekanan darah.

Perbedaan penting pada teknik korotkoff adalah penggunaan stethoscope untuk mendengarkan suara dari darah yang mengalir pada nadi . Metode auscultatory ini terbukti lebih bisa dipercaya daripada teknik palpitation dan hal tersebut menjadi latihan standart.

***Perkembangan Stethoscope***

Perkembangan stethoscope dimulai dari leopold Auenbragger. Aunbragger percaya bahwa suara yang terdengar dari detak jantung pasien mengungkapkan banyak ketidakteraturan. Cara ini disebut "thoratic percussion" dipublikasikan pada tahun 1761, tapi tidak dihiraukan sampai permulaan abad 19.

Berikutnya Nicolas Corvisart, yaitu pendukung dari Thoratic percussion milik Auenbragger dan sangat bersemangat pada promosinya tentang auscultation, mendengarkan suatu rongga badan terjadi ketika ditepuk dengan kuat. Salah satu pengikut Corvisart adalah Rene Laennec, dia sangat tertarik dengan auscultation dari rongga dada.

Teknik auscultatory standar untuk ahli fisika adalah dengan menekan kepala mereka pada dada pasien untuk mendengar resonansi. Hal tersebut mengusik laennec mempersembahkan sebuah tabung berongga dengan diameter 3,5 cm dan panjang 25 cm. Dia meneliti suara yang terdengar dari jantung dan paru-paru dengan stethoscope barunya dan mepublikasikan hasilnya pada tahun 1819. Menggunakan stethoscope leannec tidak lebih akurat dibandingkan dengan menempelkan kepala ke dada

Ada beberapa alternative dari ide dasar leannec, salah satunya dikembangkan oleh N.P.Commins pada tahun 1828. Dia menambahkan sebuah engsel dan dihubungkan kedua halves dengan tabung. Desain ini lebih fleksibel untuk memeriksa bagian tubuh yang sulit dijangkau dengan desain yang kaku. Stethoscope yang dipakai untuk kedua telinga dikembangkan pada tahun 1890an dengan tabung karet.

## 2.2 Sistem Aliran Darah

Darah dapat mengalir dalam sirkulasi sistemik disebabkan adanya tekanan darah dalam arteri, dan kecepatan aliran per menit

ditentukan oleh tahanan total, yang dikenal sebagai tahanan perifer total.

Tekanan yang terdapat dalam arteri ditimbulkan oleh ventrikel yang memompakan darahnya kedalam aorta. Tahanan terhadap aliran darah dalam sirkulasi sistemik ditimbulkan oleh gesekan antara darah dengan permukaan dinding pembuluh darah. Tahanan terjadi dalam pembuluh-pembuluh darah yang kecil terutama arteriol dan kapiler, karena tahanan berbanding terbalik dengan pangkat empat diameter pembuluh. Jadi tahanan dari pembuluh darah berdiameter 1 milimeter (mm) adalah 16 kali tahanan pembuluh yang berdiameter 2 mm.

Jika tekanan darah rata-rata normal dalam seluruh sirkulasi sistemik, disebut curah jantung, kira-kira adalah 5 liter per menit (L/men) pada keadaan istirahat. Namun curah jantung ini, sekalipun pada orang biasa, dapat meningkat menjadi 15 sampai 20 L/men selama olahraga berat dan pada atlet terlatih baik dua kali nilai itu.

Kira-kira tiga perempat bagian dari seluruh volume darah dalam susunan sirkulasi berada dalam vena. Pada waktu seseorang mengalami pendarahan hebat, vena dapat mengecil, sehingga darah dapat mengalir cukup banyak dalam pembuluh darah yang lain. Oleh sebab itu vena lain sebagai sumber pengendali darah dari jaringan perifer, juga disebut sebagai tempat cadangan darah dalam tubuh.

### 2.2.1. Hemodinamika

Bagian yang mempelajari prinsip-prinsip fisika aliran darah dalam pembuluh darah dan jantung dikenal sebagai hemodinamika. Jantung mendorong darah kedalam aorta, melebarkannya dan menimbulkan tekanan didalamnya. Tekanan ini kemudian mendorong darah melalui arteri, arteriol, kapiler, vanulam vena dan akhirnya kembali ke jantung. Selama mahluk hidup tetap hidup, aliran darah yang melalui lingkaran yang sambung-menyambung ini tidak pernah berhenti.

Arteri kecil, arteriol, kapiler, venula dan vena kecil mempunyai diameter yang demikian kecilnya sehingga darah mengalir didalamnya dengan susah payah. Dengan perkataan lain pembuluh-pembuluh itu mempunyai tahanan terhadap aliran darah.

Makin kecil pembuluh itu makin besar tahanannya, makin besar pembuluhnya makin kecil tahanannya.

### 2.2.2. Aliran darah dan Curah Jantung

Aliran darah ke berbagai bagian tubuh selama keadaan istirahat adalah sebagai berikut : otak menerima kira-kira 14 % dari aliran darah total, ginjal menerima 22 persen, hati 27 persen, dan otot-otot yang merupakan separuh dari tubuh kita hanya menerima 15 %. Namun pada waktu berolah raga terjadi perubahan yang besar, hampir seluruh kenaikan aliran darah terjadi dalam otot, sehingga sekarang merupakan 75 sampai 80% dari aliran darah total.

- **Kecepatan aliran Darah di Berbagai Tempat**

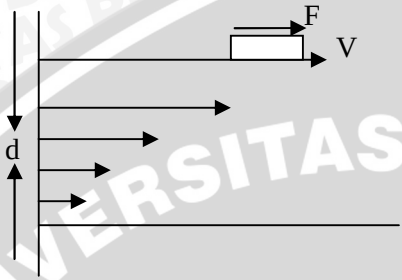
Istilah aliran darah berarti banyaknya darah yang melalui pembuluh darah atau kelompok pembuluh darah dalam satuan waktu. Berbeda dengan kecepatan aliran darah yang berarti jarak tempuh darah didalam pembuluh dalam satuan waktu.

Bila jumlah darah yang melalui pembuluh adalah konstan, kecepatan aliran darah akan berkurang dengan meningkatnya diameter pembuluh. Aorta ketika meninggalkan jantung mempunyai penampang melintang kira-kira 2.5 $cm^2$. Aorta kemudian bercabang-cabang menjadi arteri besar, arteri kecil,kapiler dan darah aorta terbagi menjadi arteri besar, arteri kecil, dan kapiler, dan darah aorta terbagi mengalir kedalam cabang-cabang tersebut. Luas penampang total dari cabang-cabang jauh lebih besar dari aorta. Di kapiler misalnya, luas penampang totalnya 1000 kali aorta. Sebagai akibatnya kecepatan aliran darah tertinggi nadalah diaorta. Diperlihatkan dalam angka kecepatan-kecepatan tersebut adalah sebagai berikut: aorta 30 cm/det; arteriol 1,5 cm/det; kapiler 0,3 mm/det; venula 3 mm/det; dan vena kava 8 cm/ det.

- **Aliran Zat Cair Melalui Pembuluh Darah**

Apabila sebuah lempengan kaca diletakkan diatas permukaan zat cair kemudian digerakkan dengan kecepatan V, maka molekul dibawahnya akan mengikuti kecepatan yang besarnya sama dengan V. Hal ini disebabkan oleh Adhesi lapisan zat cair pada permukaan kaca bagian dibawahnya. Lapisan zat cair

dibawahnya lagi akan berusaha dengan mengerem kecepatan tersebut, demikian seterusnya sehingga pada akhirnya zat cair yang paling bawah mempunyai kecepatan sama dengan nol (Gabriel, 1996).




Gambar 2.3 Ilustrasi hubungan gaya dan kecepatan

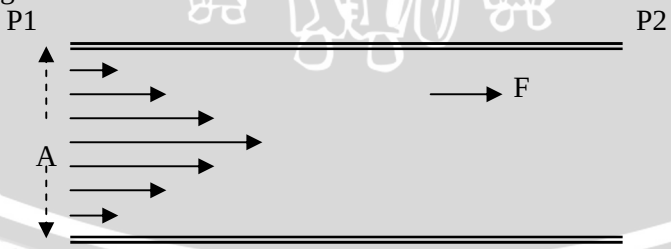
Dengan demikian gaya F yang menyebabkan kecepatan kaca tersebut dapat dinyatakan :

$$F = \eta A \frac{V}{d} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Dimana :

F= gaya
$\eta$ =Koefisien gesekan dalam (viskousitas)
A= Luas permukaan kaca
d=Jarak dari permukaan kedasar
*V*=Kecepatan mengalir.

Demikian pula aliran zat cair dalam pembuluh dapat digambarkan sebagai berikut :




Gambar 2.4 Ilustrasi Hubungan gaya dan kecepatan (Gabriel, 1996)

Makin ke tengah maka kecepatan mengalir semakin besar dengan adanya gaya (F) yang bekerja pada penampang A :

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{..... (2.2)}$$

Maka kecepatan aliran berbentuk parabola

Dimana :

P = Tekanan ($N/m^2$)

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang ($m^2$)

Apabila volume zat cair yang mengalir melalui penampang tiap detiknya disebut debit :

$$V = \frac{V}{t} \quad \text{..... (2.3)}$$

Dimana :

V = Debit (ml/s)

$V$ = Volume (ml)

t = Waktu (sekon)

maka menurut Poiseiille :

$$V = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8\eta L} \quad \text{.....(2.4)}$$

Dimana :

V = jumlah zat cair yang mengalir tiap detik (Flow rate)

$\eta$ = viskousitas atau kekentalan

r = jari-jari pembuluh

L = panjang pipa pembuluh

P1,P2 = tekanan

**2.2.3. Tekanan Pada Pembuluh Darah**

Tekanan dalam suatu pembuluh darah merupakan tekanan yang bekerja terhadap dinding pembuluh tersebut. Tekanan ini

berusaha melebarkan pembuluh karena semua pembuluh darah memang dapat dilebarkan. Pembuluh vena dapat dilebarkan delapan kali lipat dari pembuluh arteri. Selain itu tekanan dapat menyebabkan darah keluar dari pembuluh melalui setiap lubang, yang berarti tekanan darah normal yang cukup tinggi dalam arteri akan memaksa darah mengalir dalam arteri kecil, kemudian melalui kapiler dan akhirnya masuk ke dalam vena, Jadi tekanan darah penting untuk mengalirkan darah dalam lingkungan sirkulasi.

Tekanan darah juga dapat dituliskan sebagai berikut sesuai dengan hukum Poiseuille:

$$P_1 - P_2 = V \frac{8\eta l}{\pi r^4} \quad \text{.....(2.5)}$$

dimana :

$V$ = Jumlah zat cair yang mengalir tiap detik (flow rate)

$\eta$ = Koefisien gesekan dalam (viskositas)

r = Jari-jari pembuluh

L = Panjang

$P_1, P_2$ = Tekanan

### 2.2.4. Hubungan antara Tekanan Darah dan Aliran Darah

Bila tekanan darah di suatu ujung pembuluh darah adalah tinggi dan di ujung lainnya rendah, Darah akan mengalir dari yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah. Kecepatan aliran darah adalah berbanding lurus dengan selisih tekanan.

Harus diperhatikan bahwa bukan tekanan dalam pembuluh yang menentukan kecepatan aliran darah, melainkan selisih tekanan antara kedua ujung pembuluh. Misalnya tekanan di suatu ujung pembuluh adalah 100 mmHg dan di ujung lain 0 mmHg.

Bila tekanan di ujung pembuluh ini mendadak di ubah menjadi 5000 mmHg dan 4950 mmHg, selisih tekanan sekarang hanya 50 mmHg, dan aliran akan berkurang menjadi setengah nilai semula (dengan angaapan bahwa diameter pembuluh darah tidak berubah dengan berubahnya tekanan).

Hukum Poiseulle menyatakan bahwa cairan yang mengalir melalui pembuluh akan berbanding langsung dengan penurunan

tekanan sepanjang pembuluh dan pangkat empat jari – jari pembuluh dapat dinyatakan dengan:

$$Flowrate = \frac{Tekanan}{Tahanan} \quad \text{…….} \ (2.6)$$

## 2.3 Sphygmomanometer Mercury

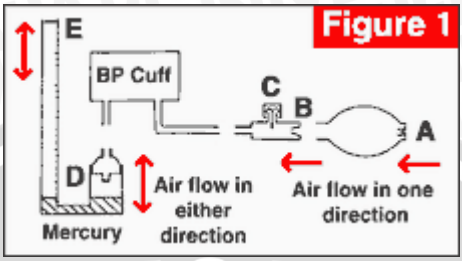
Sphygmomanometer adalah bentuk umum alat pengukur tekanan darah yang di gunakan di seluruh dunia baik pada klinik atau rumah sakit. Pengukurannya tidak langsung (tidak terdapat sensor didalam tubuh) hasil pengukurannya sangat subjektif dan apabila pengguna tidak berpengalaman maka hasil yang didapatkan akan mempunyai error yang besar.

Sphygmomanometer terdiri dari dua macam, Yaitu sphygmomanometer digital dan sphygmomanometer analog. Sphygmomanometer analog yang populer adalah mercury sphygmomanometer dan aneroid sphygmomanomater.

Gambar. 2.5 Sphygmomanometer Mercury

Sebuah sphygmamomanometer mercury dioperasikan dengan memompakan sebuah cuff karet disekitar lengan pasien sampai aliran darah berhenti. Tekanan cuff diukur dengan kolom mercury.

Gambar dibawah menunjukkan bagian dari spygmomanometer mercury. Bulb yang dipompa digunakan untuk memompa cuff. Bulb tersebut terdiri dari dua katup satu arah. Katup A menjadi tempat masuknya udara untuk mengisi bulb. Ketika bulb ditekan maka katup ini akan menutup dan udara didorong melalui katup B menuju cuff. Katup B menghentikan udara untuk kembali lagi ke bulb.




Gambar 2.6 Bagian dari sphygmomanometer mercury

Setelah cuff dipompa dan tekanan darah diambil, cuff akan dikempiskan dengan membuka katup C. Tempat penyimpanan berisi persediaan mercury yang naik pada tabung pengukuran. Dalam keadaan normal piranti ini dimasukkan kedalam kotak. Ketika dibuka, tabung menjadi vertikal, dan tempat penyimpanan mercury berada dibawahnya. Ketika tekanan cuff meningkat maka mercury dipindahkan dari tempat penyimpanan ke tabung. Dua leather discs (D dan E) mengijinkan udara melewatinya untuk keluar masuk kolom, tetapi juga menjaga agar mercury tidak keluar dari sphygmomanometer.

Masalah pada sphygmomanometer mercury

*Ingatlah bahwa uap mercury beracun.* Semua pemeliharaan seharusnya dilakukan ditempat dengan ventilasi yang baik. Menyimpan mercury dalam botol plastic dengan sedikir air diatasnya. Hati-hati untuk tidak menghirup bubuk mercury oksida hitam selama prosedur pembersihan.

*Pelunturan hitam dari mercury*. Mercury seharusnya berwarna perak bersih. Setelah beberapa waktu, bubuk hitam (oksidasi mercury) terbentuk pada permukaannya.

Sedikit bubuk hitam pada kolom tidak menjadi masalah. Jika banyak terdapat bubuk hitam, maka mercury harus dipindahkan dari sphygmomanometer dan kolom serta tempat penyimpanan mercury dibersihkan. Lakukan ini dengan membaringkan sphygmomanometer pada sisinya dengan tempat penyimpanan mercury berada dibawah. Pindahkan kolom, pastikan bahwa tidak mengilangkan leatrer disc yang diatasnya. Balikkan tempat penyimpanan mercury dan keluarkan mercury kebotol plastik.

Lepaskan tempat penyimpanan mercury dan leather disc dari atas tempat penyimpanan dan bersihkan dengan menghembuskan udara dan menyekanya dengan kain. Bersihkan dalam kolom dan pindahkan. Ingatlah untuk memindahkan leather disc pada atas dan cuci bawahnya.

Pindahkan mercury kedalam tempat penyimpanan pada nilai nol. Gunakan suatu semprotan atau jarum untuk memindahkan mercury dari botol plastik. Pastikan jarum berada dipermukaan mercury untuk menghindari kembalinya bubuk hitam. Gantikan tempat penyimpanan atas dengan cincin penyegel, hubungkan cuff dan cek alat tersebut apakah kedap udara dengan pemompaan cuff sampai mercury berada pada kolom atas. Cek apakah mercury tidak tumpah, kesalahaan atau hilangnya leather disc.

Mercury disc terus naik perlahan setelah berhenti memompanya. Hal ini terjadi karena udara yang terdapat pada kolom atas dapat lolos melalui leather disc secepat kenaikan mercury didalam kolom. Ketika sphygmomanometer digunakan, kesalahan ini mungkin menghasilkan pembacaan abnormal yang tinggi ketika mercury jatuh lebih perlahan daripada tekanan cuff, dalam kaitannya leather disc membatasi masuknya udara keatas kolom.

Karena kesalahan berada pada leather disc atas. Hal ini dapat terlalu tebal atau kotor. Lather disc seharusnya dipindahkan sebagaimana telah dijelaskan diatas dan dibersihkan. Gantikan dan tes sphygmomanometer. Jika kesalahan tetap terjadi, pindahkan disc. Pegas disc dengan ibu jari pada permukaan yang rata, dengan lembut garutkan pada mata pisau. Putar secara terus-menerus untuk memastikan bentuknya dan hati-hati supaya tidak terbentuk lubang didalamnya.

*Mercury tidak naik tapi cuff memompa.* Hal ini menandakan ada yang tersumbat pada D seperti pada gambar diatas atau terhalangi lubang yang kusut.

*Cuff tidak memompa atau mercury naik*. Hal ini menendakan bahwa terjadi kebocoran. Periksa katup A, B dan C (pada gambar 2.6), sambungan karet, tabung dan penghubung. Sambungan karet biasanya dapat diperbaiki dengan ban sepeda biasa. Katub biasanya dipindahkan dan dibersihkan. Katub A sebuah bantalan peluru kecil yang dapat dipindahkan dari

tempatnya dan dengan hati-hati dibersihkan dan dipindahkan. Setelah penilaian penuh kumpulkan sphygmomanometer dan dites.

***System inflasi-deflasi***

System inflasi-deflasi terdiri dari sebuah mekanisme pemompaan dan pengempisan yang dihubungkan oleh tabung karet keoccluding bladder. Spygmomanometer mercury dan aneroid standart yang digunakan pada klinik diopersikan secara manual, dengan pemompaan yang disebabkan oleh bulb yang ditekan oleh tangan dan pengempisan yang dimaksud adalah katub pelepasan, yang juga diatur oleh tangan. Pompa dan katub pengaturan dihubungkan ke inflatable bladder dan ke sphygmomanometer dengan tabung karet.

**Tabung karet**

Kebocoran yang disebabkan karena pecah atau rusaknya karet membuat akurasi pengukuran tekanan darah menjadi sulit karena turunnya mercury tidak dapat dikontrol. Karet seharusnya dalam kondisi yang baik dan bebas dari kebocoran. Panjang minimum dari tabung antara cuff dan manometer seharusnya 70cm dan panjang tabung antara sumber inflasi dan cuff setidaknya 30 cm. sambungan tersebut seharusnya benar-benar rapat dan mudah dilepaskan.

**Katup pengaturan**

Sumber kesalahan yang biasa terjadi pada sphygmomanometer adalah katup pengaturan, terutama ketika filter udara lebih dipilih untuk digunakan daripada katup karet. Katup yang tidak sempurna menyebabkan kebocoran, membuat pengaturan pelepasan tekanan menjadi sulit; kebocoran ini dapat mengakibatkan pengukuran systole menjadi terlalu rendah dan pengukuran diastole menjadi terlalu tinggi. Kesalahan pada katup pengaturan mungkin dapat dibetulkan dengan mudah dengan membersihkan filter dan mengganti katup pengaturan yang baru.

## 2.4 Pengukuran Tekanan Darah Menggunakan Sphygmomanometer Mercury

Tekanan darah tertinggi disebut tekanan sistolik dan tekanan darah terendah disebut tekanan diastolik.

Tabel 2.1 Klasifikasi tekanan darah untuk dewasa umur 18 tahun dan lebih

| Kategori | Sitole (mmHg) | Diastole (mmHg) |
|---|---|---|
| Optimal ** | <120 | <80 |
| Normal | <130 | <85 |
| High Normal | 130-139 | 85-89 |
| Hipertensi*** | | |
| Tingkat 1 | 140-159 | 90-99 |
| Tingkat 2 | 160-179 | 100-109 |
| Tingkat 3 | ≤180 | ≤110 |

Catatan :

*Tidak perlu mengkonsumsi obat hipertensi dan tidak sangat sakit. Ketika tekanan darah siastole dan diastole terdapat pada kategori berbeda, kategori yang lebih tinggi seharusnya dipilih untuk mengklasifikasi tekanan darah individual, contohnya 160/92 mmHg seharusnya diklasifikasikan kedalam hipertensi tingkat 2 dan 172/120 mmHg seharusnya diklasifikasikan sebagai hipertensi tingkat 3. Isolasi hipertensi siastole digambarkan sebagai tekanan darah siastole 140mmHg atau lebih dan tekanan darah diastole kurang dari 90mmHg menjadwalkan sewajarnya (contohnya 170/82 mmHg ditentukan sebagai tingkat 2 isolasi hipertensi siastole). Dalam penambahan untuk klasifikasi tingkatan dalam hipertensi pada basis dari tingkat tekanan darah rata-rata, klinik seharusnya menetapkan kehadiran atau tidak hadirnya penyakit target organ dalam penambahan faktor resiko. Hal ini sangat penting untuk klasifikasi resiko dan pengobatan.

**Tekanan darah optimal dengan menghargai resiko cardiovaskular adalah kurang dari 120/80 mmHg. Bagaimanapun, pembacaan rebdah yang tidak biasa seharusnya dievaluasi untuk arti klinis.

***Berdasarkan rata-rata dari dua atau lebih pembacaan yang dilakukan selama dua atau lebih kunjungan setelah saringan awal.

Tekanan sistolik pada dewasa muda normal kira-kira 120mmHg dan tekanan diastoliknya kira-kira 80mmHg. Cara umum untuk menulisnya adalah 120/80. Pada bayi baru lahir

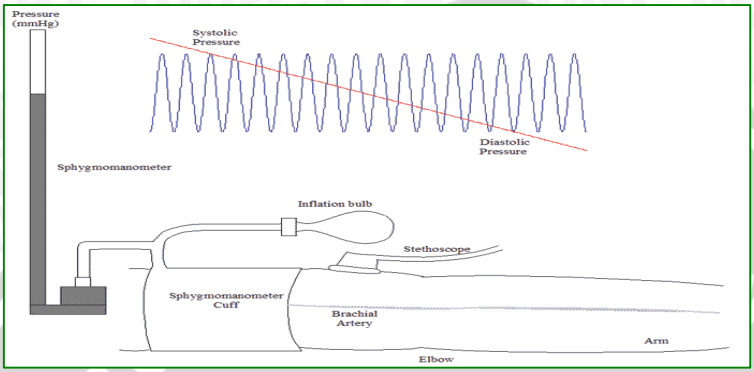
tekanan sistoliknya kira-kira 90mmHg dan tekanan diastoliknya kira-kira 55mmHg. Tekanan biasanya mencapai 120/80 pada usia dewasa muda, dan pada usia tua rata-rata 140/90.

### 2.4.1 Cara Pengukuran Langsung Dengan Alat Yang Bereaksi Cepat.

Tekanan darah berubah dengan cepat dalam satu siklus jantung, sehingga diperlukan suatu alat pencatat yang peka untuk mengikuti perubahan itu agar kita dapat mengukurnya. Beberapa macam tranduser elektronik dipakai bersama dengan pencatat elektronik yang memadai. Prisnsip dasar dari semua tranduser adalah sebagai berikut : Pembuluh darah yang diukur tekanannya dihubungkan melalui pipa yang tidak dapat mekar dengan satu rongga kecil yang salah satu sisinya ditutup membran elastis tipis. Bila tekanan meningkat, membran akan mencembung keluar, dan bila tekanan turun kecembungan berkurang. Pencembungan membran akan mengaktifkan alat sensor elektrik, tegangan listrik yang terbentuk kemudian diperbesar dicatat pada kertas yang bergerak. Tranduser membran dapat mencatat perubahan tekanan yang terjadi kurang dari 0,01 detik, lebih dari cukup untuk mencatat perubahan tekanan dalam sirkulasi.

### 2.4.2 Pengukuran Tekanan Sistolik dan Diastolik Secara Tidak Langsung.

Caranya dengan menggunakan spygmomanometer, manset yang mengembung dipasang mengelilingi lengan atas dan dihubungkan melalui pipa dengan menggunakan manometer air raksa. Kemudian tekanan dalam manset ditingkatkan sampai melewati tekanan arteri brakialis, dinding arteri brakialis menjadi kempes karena tekan di luar didinding lebih besar dari tekanan dalam arteri.




Gambar 2.7 Cara mengukur tekanan darah menggunakan sphygmomanometer

Bila tekanan dalam manset diturunkan perlahan-lahan sampai dibawah tekanan sistolik, sejumlah kecil darah menerobos arteri secara intermiten setiap kali tekanan arteri meningkat sampai setinggi tekanan sistolik.

Pada saat itu tekanan dalam arteri dapat melawan tekanan dari luar dan dapat membuka pembuluh secara intermiten pada saat tekanan mencapai puncaknya. Pada saat diastole darah masih belum dapat melalui arteri. Aliran darah yang intermiten menimbulkan getaran suara pada arteri-arteri lengan bawah setiap kali darah mengalir dan suara ini dapat didengar dengan stetoskop. Jadi untuk menentukan tekanan darah sistolik, mudah caranya yaitu meneka manset sampai tekanannya tinggi, dan kemudioan kempeskan perlahan-lahan sampai terdengar suata intermiten. Pada saat itu tekanan yang terlihat pada manometer air raksa adalah tepat sama dengan tekanan sistolik. Untuk menentukan tekanan diastolik, darah akan mengalir melalui arteri sepanjang waktu tanpa menimbulkan suara mendesis. Getaran yang ditimbulkan oleh darah yang melesat sekarang menghilang, sehingga tidak ada lagi suara yang terdengar melalui stetoskop. Tekanan yang tercatat pada saat ini mendekati tekanan diastolik.

*Hal-hal dibawah ini penting untuk akurasi tekanan darah :*

- Bagian yang dapat dipompa dari cuff harus ukuran yang tepat untuk lengan. Hal ini harus menutupi dua pertiga dari panjang lengan atas. Sebuah cuff tekanan darah yang terlalu kecil akan menyebabkan pembacaan tekanan darah tinggi yang tidak normal dan pembacaan rendah yang mungkin dihasilkan cuff yang terlalu besar. Cuff seharusnya kuat untuk diterapkan dengan pusat dari bagian yang dapat dipompa diatas nadi brachial.

Tabel 2.2 Rekomendasi dimensi blader untuk cuff tekanan darah

| Kategori cuff | Ukuran bladder (cm) | Lingkar Lengan (cm) |
|---|---|---|
| Baru lahir | 3 x 6 | ≤ 6 |
| Bayi | 5 x 10 | 6-10 |
| Anak-anak | 8 x 13 | 10-16 |
| Orang dewasa kecil | 10 x 20 | 16-25 |
| Orang dewasa | 13 x 26 | 26-32,5 |
| Orang dewasa besar | 16 x 32 | 32-40 |
| Paha orang dewasa | 20 x 40 | ≥ 40 |

- Cuff harus bebas dari kebocoran
- Mercury harus bersih dan berada pada nilai nol sebelum digunakan
- Selama pemompaan cuff, mercury seharusnya naik perlahan-lahan dan berhenti ketika pemompaan berhenti.

Saran bila termasuk dalam instruksi penggunaan sphygmomanometer yang menggunakan manometer mercury :

- **Petunjuk dan tindakan pencegahan**
  Sphygmomanometer mercury seharusnya ditangani dengan hati-hati. Dalam keadaan tertentu, berhati-hati berarti menghindari jatuhnya instrument tersebut atau melakukan hal yang dapat merusak manometer. Pemeriksaan secara berkala diperlukan untuk meyakinkan bahwa tidak terdapat kebocoran dari sistem inflasi dan meyakinkan bahwa manometer tidak dalam keadaan rusak yang menyebabkan kehilangan mercury.

- **Sehat dan aman dalam menangani mercury**
  Pembukaan mercury dapat menyebabkan keracunan yang serius; penyerapan mercury dapat menyebabkan kekacauan

neuropsychiatric dan pada kasus yang extrim dapat menyebabkan nephorosis.

Ketika membersihkan atau memperbaiki instrument ini, seharusnya ditempatkan pada sebuah baki datar, permukaan yang tidak dapat dilampaui dengan kemiringan 10° horizontal. Penggunaan sarung tangan (misalnya yang terbuat dari latex) dapat menghindari kontak langsung dengan kulit. Dalam bekerja harus berada pada daerah dengan ventilasi yang bagus dan terhisapnya uap dari mercury harus dihindari. Bila akan dikirim untuk diperbaiki oleh ahlinya sebaiknya dibungkus dengan tas plastik atau container.

- **Spillage mercury**

  Ketika berhubungan dengan spillage mercury, gunakan sarung tangan yang terbuat dari latex. Hindari menghirup udara uap dari mercury. Kumpulan tumpahan dari mercury dalam satu tempat dan segera dimasukan dalam container dan kemudian disegel.

  Setelah memindahkan semua mercury, bersihkan permukaan yang telah terkontaminasi dengan cara mencucinya dengan komponen yang sama dari kalsium hidroksida serta sulfur bubuk yang dicampur dengan air. Gunakan campuran tersebut pada semua permukaan yang terkontaminasi dan biarkan kering. Setelah 24 jam, bersihkan permukaannya dengan air sampai bersih.

- **Membersihkan tabung manometer**

  Untuk menghasilkan hasil yang paling baik dari sphygmomanometer mercury, tabung manometer seharusnya dibersihkan dalam kurun waktu tertentu. Hal ini dapat meyakinkan bahwa mercury dalam tabung akan dapat naik turun tanpa hambatan, dan akan merespon dengan cepat perubahan tekanan dalam cuff.

  Pada saat membersihkan hindari mengkotori baju dengan mercury. Semua bahan yang terkontaminasi dengan mercury seharusnya dibungkus plastic sebelum dibuang.

### 2.4.3 Bunyi Korotkoff

Bunyi korotkoff adalah bunyi yang dapat didengar melalui stethoscope sebagai tekanan cuff yang dikosongkan. Bunyi

tersebut pertama kali didengar ketika tekanan cuff sebanding dengan tekanan sistolik, dan bisa lenyap seketika saat cuff dikosongkan pada tekanan diastolic.

Secara umum dapat diterima bahwa bunyi korotkoff terdiri dari lima tahap. Setiap tahap dikategorikan berdasarkan volume dan kualitas bunyi yang terdengar. Gambar dibawah ini adalah ilustri dari tahap-tahap diatas. Pada contoh ini, tekanan siastolik dan diastolik adalah 120 mmHg dan 80 mmHg.

Tahap-tahap bunyi korotkoff adalah sebagai berikut :

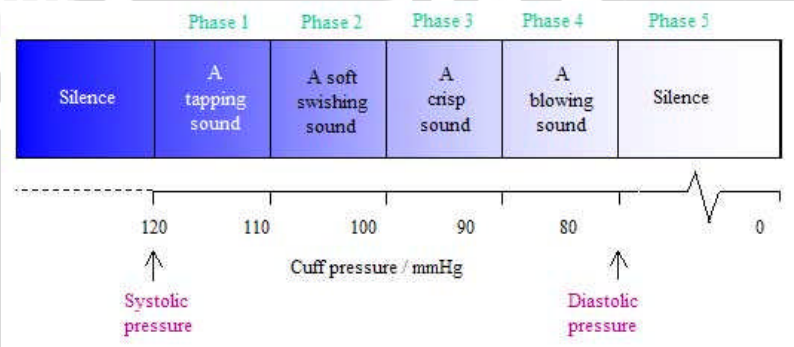
- Tahap 1
  Dengan tekanan cuff yang dipompa menuju luar tekanan sitolik, nadi benar-benar terhimpit dan tidak ada aliran darah yang bisa melaluinya. Karena itu tidak terdengar bunyi apapun diatas tekanan sistolik. Pada titik dimana tekanan cuff sebanding dengan tekanan sistolik, sebuah bunyi percabangan yang tajam terdengar. Kami mengingat bahwa osilasi tekanan darah berada antara tekanan sistolik dan diastolik. Pada sistolik, tekanan cukup besar untuk mendorong dinding nadi membuka dan dapat melaluinya. Pada tekanan diastolik, dinding nadi akan menutup lagi.

- Tahap 2
  Tahap 2 ini dikarakterkan oleh bunyi mendesir, disebabkan oleh adukan didalam darah ketika aliran yang melalui nadi meningkat. Kadang-kadang, jika cuff mengempis terlalu pelan, bunyinya akan lenyap sementara. Hal ini terjadi ketika darah dalam veseel dibawah cuff menjadi terlalu banyak, dan hal ini biasanya menandakan hipertensi. Kebutuhan yang terjadi biasanya menjadi jelas, dan bunyi kembali terdengar. Waktu interving disebut auscultatory.
- Tahap 3
  Pada tahap ini, terdapat sebuah permulaan dari bunyi crisp tapping, hampir sama seperti yang terdengar pada tahap 1. Pada langkah ini peningkatan aliran darah mengetuk pada dinding nadi.
- Tahap 4
  Pada tahap ini, terdapat sesuatu yang kasar yang menutupi bunyi. Aliran darah menjadi lebih sedikit bergolak.

Beberapa praktisi medis memilih untuk mencatat tahap ini sebagai tekanan distolik.

- Tahap 5

  Tahap ini dimana bunyi dapat lenyap terdengar secara bersamaan. Tekanan darah sudah kembali normal sekarang. Tekanan cuff dapat dikosongkan dan dipindahkan.




Gambar 2.8 ilustrasi lima tahap pada bunyi korottkof

## 2.5 Kalibrasi

Spygmomanometer mercury merupakan salah satu dari alat kesehatan yang harus dikalibrasi setiap tahun sekali. Adapun definisi dari kalimat diatas (menurut PERATURAN MENTERI KESEHATAN INDONESIA NOMOR : 363/MENKES/PER/IV/1988) adalah sebagai berikut :

- Alat kesehatan : instrument yang tidak mengandung obat yang digunakan untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan dan meringankan penyakit, merawat orang sakit serta memulihkan kesehatan manusia dan atau untuk membentuk struktur dan memperbaiki fungsi tubuh.
- Kalibrasi : kegiatan peneraan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat ukur/ atau bahan ukur.

Kalibrasi dilakukan pada alat kesehatan yang dipergunakan disarana pelayanan kesehatan (menurut PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONSEIA NOMOR : 363/MENKES/PER/IV/1998) dengan kriteria sebagai berikut :

a. Belum mempunyai sertifikat dan / atau tanda.
b. Sudah berakhir jangka waktu sertifikat dan / atau tanda.
c. Diketahui penunjukannya atau keluarannya atau kinerjanya (performance) atau keamanannya (safety) tidak sesuai lagi walaupun sertifikat dan / atau tanda masih berlaku.
d. Telah mengalami perbaikan, walaupun sertifikat dan / atau tanda masih berlaku.
e. Telah dipindahkan bagi yang memerlukan instalasi, walaupun sertifikat dan / atau tanda masih berlaku.

Karena kalibrasi merupakan serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjuk oleh instrumen pengukur atau sistem pengukuran atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu.

### 2.5.1 Ketidakpastian

Menurut ISO GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Mesurement) terdapat dua jenis evaluasi yaitu tipe A dan tipe B. Evaluasi ketidakpastian pengukuran tipe A dilakukan dengan menggunakan metode statistik untuk menganalisa satu set pengukuran yang berulang. Sedangkan evaluasi ketidakpastian pengukuran tipe B menggunakan suatu cara selain analisis statistik.

Untuk lebih jelasnya dibawah ini adalah evaluasi ketidakpastian pengukuran tipe A dan tipe B beserta rumus yang digunakan :

❖ TIPE A

- $U_{A1}$
  - Mencari nilai rata-rata (mean) dari data yang didapatkan pada kalibrasi dengan menggunakan rumus:

$$\boxed{\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i)} \quad \text{..... (2.7)}$$

dimana : $x_i$ = nilai sampling
n = banyaknya sampling

- Menghitung standart deviasi dengan menggunakan rumus

$$S(x_i)=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad .....(2.8)$$

dimana $S(x_i)$ = standart deviasi

- Menghitung standart uncertainty tipe $A_1$ ($U_{A1}$) Experimental Standart Deviation of the Mean (ESDM) dengan menggunakan rumus :

$$SBRE/\ ESDM = S(\bar{x}) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}} \quad .....(2.9)$$

- $U_{A2}$
  - Nilai SSR ( *Sum Square of the Residual)* dapat dinyatakan dengan persamaan :

    $SSR = \Sigma (y_i - a - b.x_i)^2$ ..... (2.10)

    Dimana :

    SSR = Sum Square of Residual
    $y_i$ = data pengukuran
    a,b = konstanta
    $x_i$ = setting

  - Untuk menghitung nilai a dan b dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

    $a = \bar{y} - b.\bar{x}$ .....(2.11)

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.y_i - \left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} y_i\right]}{n\sum_{i=1}^{n} xi^2 - \left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]} \quad .....(2.12)$$

- Sebaran data disekitar kurva dapat dijelaskan dengan suatu variasi (Var) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

  $$Var = \frac{SSR}{v} \quad \text{..... (2.13)}$$

  dimana :

  v = bilangan derajat kebebasan
  = n-2

- Perkiraan deviasi standart dari kurva dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

  $$S = \sqrt{Var} \quad \text{..... (2.14)}$$

- Ketidakpastian standartnya adalah :

  $$U_{A2} = S \quad \text{..... (2.15)}$$

❖ TIPE B

Evaluasi ketidakpastian pengukuran tipe B diperoleh dengan cara selain analisa statiastik, umumnya diperoleh dari pertimbangan pengetahuan dengan menggunakan informasi yang berhubungan antara lain :

- Data dari spesifikasi alat (diambil dari buku panduan alat)
- Data dari hasil kalibrasi (diambil dari sertifikat kalibrasi)
- Resolusi pembacaan dari alat ukur.

Sebagai contoh bila diambil nilai ketidakpastian alat ukur atau kalibrator atau sertifikat kalibrasi maka ketidakpastian standart tipe B dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U_{B1} = \frac{U_s}{k} \quad \text{..... (2.16)}$$

dimana : U = ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi
k = bernilai 2 untuk tingkat kepercayaan 95 % dari U
$U_s$ = ketidakpastian sertifikat

### 2.5.2 Probability Distribution

Untuk mengetahui nilai ketidakpastian standart dari informasi yang lain, ditentukan terlebih dahulu distribusi data atau perkiraan sebaran kesalahan (misalnya distribusi persegi empat atau distribusi normal).

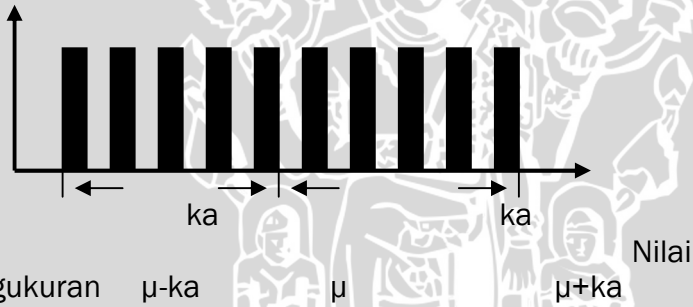
Ada beberapa macam distribuasi dalam kalibrasi , distribusi data ini digunakan untuk menentukan besarnya faktor cakupan yang akan digunakan dalam perhitungan ketidakpastian standart tipe B. Adapun macam distribusinya adalah sebagai berikut :

- *Rectangular distribution (distribusi persegi empat)*

Distribusi persegiempat seperti terlihat dibawah. Standar ketidakpastiannya dihitung dengan cara membagi ”a” dengan $\sqrt{3}$ .

$$U = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad \text{..... (2.17)}$$

dimana : a = Semi range limit yang diperoleh dari $x_i$




Gambar 2.9. Distribusi Persegi Empat

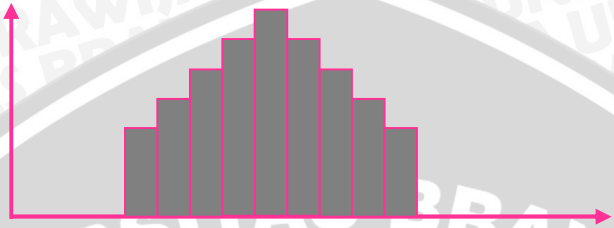
Dalam distribusi persegiempat diasumsikan bahwa probabilitas nilai diatas manapun dibawah batas adalah sama.

- *Triangular distribution (distribusi segitiga)*

Untuk mencari nilai standar ketidakpastiannya dapat diperoleh dengan cara membagi nilai (half interval) dengan $\sqrt{6}$ .

$$U = \frac{a}{\sqrt{6}} \quad \text{..... (2.18)}$$

dimana : a = Semi range limit yang diperoleh dari $x_i$



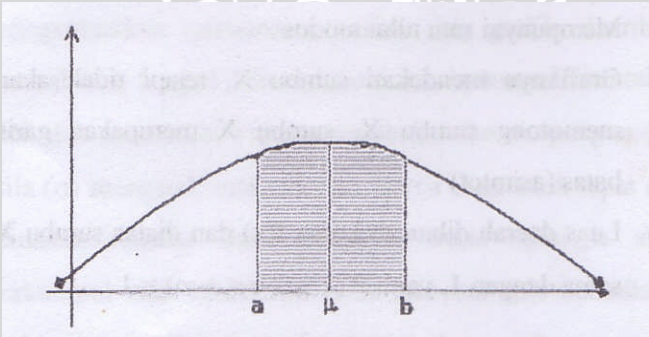
Gambar 2.10. Distribusi Segitiga

➢ *Normal or Gaussion Distribution*

Bentuk ini dapat diasumsikan untuk ketidakpastian yang menegaskan suatu interval kepercayaan yang dapat menghasilkan nilai kepercayaan 95 % atau 99 . Ketidakpastian standart dengan tingkat kepercayaan 95 % dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$U = \frac{a}{\sqrt{9}} \text{.....(2.19)}$$

dimana : a = Semi range limit yang diperoleh dari $x_i$




Gambar 2.11Distribusi Normal (Gaussian Distribution)

Setelah diperoleh nilai ketidakpastian standart tipe A dan tipe B maka selanjutnya dicari nilai ketidakpastian gabungan (kombinasi) yang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} Ui^2} \quad \text{..... (2.20)}$$

$$U_c = \sqrt{U^2{}_{A1} + U^2{}_{A2} + U^2{}_{B1} + U^2{}_{B2}} \quad \text{.....(2.21)}$$

dimana : $U_c$ =ketidakpastian gabungan (kombinasi)
$U_{A1}$ =ketidakpastian tipe A jenis ke 1
$U_{A2}$ =ketidakpastian tipe A jenis ke 2
$U_{B1}$ =ketidakpastian tipe B jenis ke 1
$U_{B2}$ =ketidakpastian tipe B jenis ke 2

Untuk memperoleh nilai k, maka dicari nilai dari derajat efektifitas dengan menggunakan persamaan :

$$v_{eff} = \frac{U^4{}_y(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{C_1^4 U^4(xi)}{v_i}} = \frac{U_c^4}{\frac{U_{A1}^4}{V_{A1}} + \frac{U_{A1}^4}{V_{A2}} + \frac{U_{B1}^4}{V_{B1}^4} + \frac{U_{B2}^4}{V_{B2}}} \quad \text{....(2.22)}$$

dimana :

$V_{eff}$ = Derajat kebebasan efektif
$U_{A1}$ = Ketidakpastian tipe A = ESDM jenis ke 1
$U_{A2}$ = Ketidakpastian tipe A = (s) jenis ke 2
$U_{B1}$ = ketidakpastian tipe B jenis ke 1
$U_{B2}$ = ketidakpastian tipe B jenis ke 2
Bila dari evaluasi tipe A maka vi = n-1
Bila dari evaluasi tipe B maka vi = $\infty$

Setelah dihitung nilai derajat kebebasan efektifnya (Veff) maka faktor pembaginya (k) dapat dicari dari tabel T-student dengan kepercayaan 95 %.

Ketidakpastian bentangan merupakan hasil akhir dari ketidakpastian pengukuran, nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U = k \; x \; U_c \quad \text{..... (2.23)}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

# BAB III
# METODE PENELITIAN

Tugas akhir ini bertujuan menentukan kelayakan instrument sphygmomanometer mercury dengan menganalisa performansi instrument tersebut melalui proses kalibrasi menggunakan DPM4-1G metode OIML R16. Untuk mencapai tujuan dari tugas akhir ini maka metodologi yang digunakan adalah dengan menganalisa performansi sphygmomanometer mercury melalui proses kalibrasi untuk menentukan nilai koreksi pengukuran dan nilai ketidakpastian pengukuran. Setelah didapatkan hasil kalibrasi maka dapat ditentukan apakah instrument sphygmomanometer mercury tersebut masih layak digunakan atau tidak.

## 3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 6 Mei s.d. Selesai. Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Pemeliharaan Sarana – Elektro Rumah Sakit (IPS-Elektro RS) Dr. Saiful Anwar Malang.

## 3.2 Peralatan Kalibrasi Sphygmomanometer Mercury

Peralatan yang digunakan untuk proses kalibrasi instrumen sphygmomanometer adalah :

### A. Sphygmomanometer mercury

Sphygmomanometer berfungsi bebagai objek yang akan dikalibrasi guna mengetahui apakan instrumen ini masih layak digunakan atau tidak.

Pada instrumen ini dapat diperoleh beberapa informasi antara lain : nama instrument, resolusi, lama penggunaan instrument, frequensi penggunaan instrument, historis maintenance instrument (misalnya pernah terjadi kerusakan apa saja dan kapan saja hal itu terjadi), serta data pembacaan alat (sphygmomanometer yang dikalibrasi) yang nantinya dapat digunakan dalam proses analisa.

Gambar 3.1 Sphygmomanometer Mercury

**B. Thermohygrometer**

Thermohygrometer berfungsi sebagai pengukur suhu dan kelembaban lingkungan tempat dilakukan kalibrasi.

Gambar 3.2 Thermohygrometer

**C. DPM4-1G (DPM=Digital Pressure Meter)**

DPM4-1G (Digital pressure Meter) berfungsi sebagai kalibrator dalam proses kalibrasi sphygmomanometer mercury. Informasi yang dapat diperoleh dari alat ini antara lain : nilai ketidakpastian dari Digital Pressure Meter yang didapatkan dari sertifikat kalibrasinya, serta data set poin yang nantinya akan dibandingkan dengan data pembacaan pada sphygmomanometer mercury.

Gambar.3.3 Digital Pressure yang digunakan DPM4-1G.

### 3.3 Prosedur kalibrasi

Metode yang digunakan untuk kalibrasi sphygmomanometer adalah OIML R16. OIML R16 adalah sebuah standar acuan yaitu sebuah metode yang mengacu pada hasil kalibrasi sphygmomanometer dengan nilai koreksi yang ditetapkan tidak boleh lebih dari ± 3 mmHg. Dibawah ini adalah prosedur prakalibrasi dan prosedur kalibrasi sphygmomanometer mercury mengacu pada metode OIML R16.

**A. Prosedur Prakalibrasi dan Kalibrasi**

Sebelum melakukan kalibrasi pada Spygmomanometer Mercury, dilakukan terlebih dahulu prosedur prakalibrasi. Adapun prosedur prakalibrasi adalah sebagai berikut :

a. Meletakkan sphygmomanometer pada meja kerja yang rata atau tidak miring.
b. Mengikat manset (cuff) agar tetap tergulung dengan baik dan memastikan manset tidak berisi udara.
c. Melepaskan pompa (inflation bulb) sphygmomanometer dan menghubungkan dengan digital pressure meter (DPM)
d. Menyalakan DPM dengan menekan ON/OFF lalu melakukan zero.
e. Membuka kunci air raksa (mercury) dan memastikan permukaan air raksa menunjukkan nol pada sphygmomanometer. Bila permukaan air raksa tidak berada pada nol, maka dilakukan penambahan atau pengurangan air raksa sampai permukaanya menunjukkan nol.
f. Melakukan pemanasan sebelum pengambilan data. Hal ini dapat dilakukan dengan memberikan tekanan pada sphygmomanometer sampai batas maksimal dan menurunkan tekanan tersebut sampai batas minimal dan dilakukan beberapa kali. Bila penunjukan air raksa pad abatas maximal tidak baik (air raksa terputus-putus), maka ada dua kemungkinan, yaitu air raksa dalam sphygmomanometer tersebut kurang atau terlalu banyak, bisa juga karena kolom air raksa kotor.
g. Melakukan pemeriksaan kebocoran dengan memberikan tekanan pada skala penunjukan maximal dan membaca skala penunjukan setelah satu menit, penurunan air raksa tidak boleh lebih dari 15 mmHg/min.

h. Melakukan enam titik pengamatan, yaitu 0 mmHg, 50 mmHg, 100 mmHg, 150 mmHg, 200 mmHg, 250 mmHg.
i. Mempersiapkan worksheet untuk mencatat.

Setelah melakukan prosedur prakalibrasi, maka dilakukan prosedur kalibrasi sebagai berikut:

1. Kondisikan sphygmomanometer/tensimeter yang akan dikalibrasi
2. Lakukan pemeriksaan kondisi fisik.
3. Catat kondisi ruang (suhu, kelembaban relative dan tekanan udara).
4. Lakukan pendataan terhadap sphygmomanometer yang akan dikalibrasi.
5. Yakinkan bahwa sphygmomanometer terinstal dengan benar.
6. Perhatikan gambar 3.4 instalasi kalibrasi sphygmomanometer air raksa.

Gambar.3.4 instalasi kalibrasi spygmomanometer air raksa

7. Lakukan pengecekan apakah masih terdapat kebocoran dan gelembung udara (khusus untuk sphygmomanometer jenis air raksa).
8. Amati posisi awal air raksa/jarum penunjuk apakah pada titik 0 (nol).
9. Dalam Metode kalibrasi ini hanya dilakukan kalibrasi terhadap parameter Cuff Pressure Indication (Indikasi

Tekanan Cuff) dengan batas kesalahan maksimal yang diijinkan (Toleransi) : ± 3mmHg.

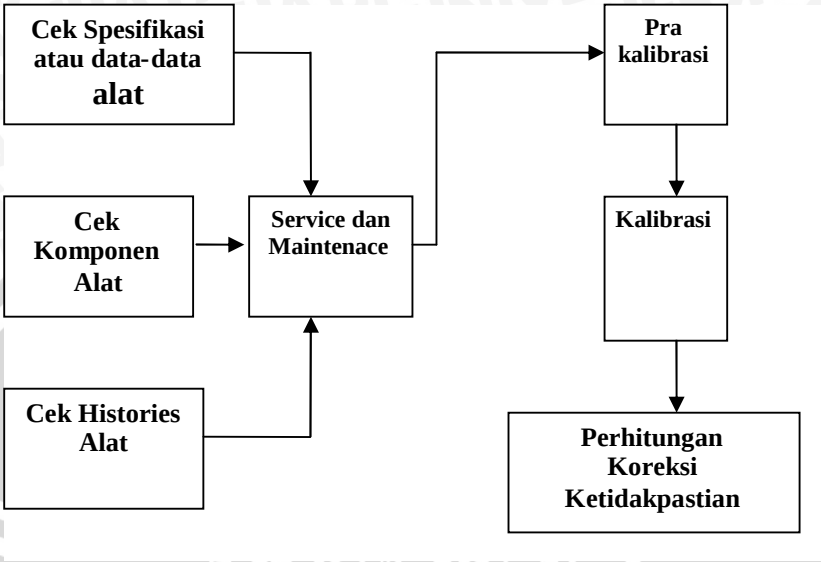
Pengukuran Parameter Cuff Pressure Indication (Indikasi Tekanan Cuff) :

1. Tentukan titik pengamatan ini berdasarkan tabel dibawah ini atau sesuai dengan keinginan pelangan. Untuk setiap titik ukur harus dilakukan pengambilan data untuk pengukuran naik dan turun.
2. Jika sphygmomanometer menggunakan manset untuk bayi/anak-anak maka titik pengamatan yang diambil adalah : 0, 20, 50, 100, 120 dan 150 mmHg.
3. Jika sphygmomanometer menggunakan manset untuk orang dewasa maka titik pengamatan yang diambil adalah: 0, 50, 100, 150, 200 dan 250 mmHg. Perhatikan Tabel-1. Data Kalibrasi Cuff Siapkan/perhatikan lembar kerja untuk mencatat hasil pengukuran.
4. Langkah-langkah dibawah ini merupakan pengambilan data untuk sphygmomanometer yang menggunakan manset orang dewasa.
5. Amati pembacaan standar pada titik 0 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer pada kolom naik I.
6. Berikan tekanan naik sehingga pada standar terbaca 50 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer pada kolom naik I
7. Berikan tekanan naik sehingga pada standar terbaca 100 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer pada kolom naik I
8. Berikan tekanan naik sehingga pada standar terbaca 150 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer pada kolom naik I
9. Berikan tekanan naik sehingga pada standar terbaca 200 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer pada kolom naik I
10. Berikan tekanan naik sehingga pada standar terbaca 250 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer pada kolom naik I. Tunggu beberapa saat atau kira-kira 5 detik dan kemudian catat nilai yang

ditunjukkan oleh sphygmomanometer/tensimeter pada kolom turun I.

11. Pressure Indication untuk manset dewasa.
12. Turunkan tekanan sehingga pada standar terbaca 200 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer/tensimeter pada kolom turun I.
13. Turunkan tekanan sehingga pada standar terbaca 150 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer/tensimeter pada kolom turun I.
14. Turunkan tekanan sehingga pada standar terbaca 100 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer/tensimeter pada kolom turun I.
15. Turunkan tekanan sehingga pada standar terbaca 50 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer/tensimeter pada kolom turun I.
16. Turunkan tekanan sehingga pada standar terbaca 0 mmHg dan catat nilai yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer/tensimeter pada kolom turun I.
17. Lakukan kembali langkah nomor 5 sampai dengan 16 untuk mendapatkan data pengukuran selanjutnya (kolom naik II, III,IV,V dan Turun II,III,IV,V.
18. Setelah selesai pengambilan data, periksa ulang data-data yang telah dicatat tadi sampai kita yakin data tersebut benar adanya.

Didalam ISO 17025 (paragraph 5,4,7) penentuan ketidakpastian pengukuran merupakan hal yang wajib dikerjakan baik untuk laboratorium kalibrasi maupun pengujian. Dan selanjutnya proses perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai koreksi dan nilai ketidakpastian pengukuran dari instrument sphygmomanometer mercury yang telah dikalibrasi.




Gambar. 3.5 Alur metode OIML R16.

Untuk OIML R16 terdapat pengecekan dan maintenance pada komponen alat seperti :

- Pengecekan air raksa atau mercury, apabila air raksa sudah tidak berwarna perak atau tercampur bubuk berwarna hitam, maka air raksa harus segera dibersihkan atau diganti.
- Pengecekan leather disk. Leather disk merupakan penahan antara tabung mercury dengan pengunci, apabila leather disk hilang maka harus segera diganti agar tidak terjadi kebocoran air raksa.
- Pengecekan bulb atau pompa. Apabila bulb kotor maka pemompaan tidak akan maksimal, maka apabila bulb kotor harus dibesihkan dengan menggunakan alkohol 70 % dan harus diganti apabila bulb tersebut bocor.
- Pengecekan selang. Selang merupakan saluran utama pensupplay tekanan udara untuk menggerakan air raksa, maka apabila selang bocor harus segera diganti.
- Pengecekan manset. Begitu juga dengan manset, manset apabila manset bocor maka manset tidak bisa mencembung sehingga tekanan darah tidak akan bisa terukur.

- Pengecekan tabung. Tabung merupakan tempat air raksa pada saat tekanan darah terukur. Maka untuk menghindari pecahnya tabung pada saat penyimpanan sphygmomanometer harus hati-hati.

**B. Menentukan nilai koreksi**

Dari data-data diatas dapat dicari nilai koreksi untuk tiap-tiap titik pengukuran dan nilai ketidakpastian pengukuran. Untuk nilai koreksi dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$PST = PS + Fk \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.1)$$

dimana:

PST : Pembacaan Standart Terkoreksi (mmHg)

Fk : Faktor korelasi (mmHg). Faktor korelasi dari sertifikat koreksi alat standart yang digunakan.

PS : Pembacaan Standart

$$K = PST - PA \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.2)$$

dimana:

K : Koreksi (mmHg)

PST : Pembacaan Standart Terkoreksi (mmHg)

PA : Pembacaan Alat (mmHg)

**C. Menentukan nilai ketidakpastian**

Nilai ketidakpastian pengukuran diperoleh dari dua macam analisa, yaitu analisa tipe A dan analisa tipe B. Untuk analisa tipe A, $U_{AI}$ dapat digunakan persamaan (2.7),(2.8),(2.9), sedangkan untuk $U_{A2}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.10) sampai dengan persamaan (2.15). sedangkan untuk analisa tipe B,$U_{B1}$ digunakan persamaan (2.16) dan $U_{B2}$ digunakan persamaan (2.19). Untuk mengitung ketidakpastian kombinasi digunakan persamaan (2.21), sedangkan untuk menghitung derajat kebebasan efektifitas dapat menggunakan persamaan (2.22). Ketidakpastian bentangan (expanded) dapat dicari menggunakan persamaan (2.23)

***Analisa tipe A***

❖ $U_{AI}$

o Mencari rata-rata dengan menggunakan persamaan (2.7) :

$$\boxed{\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i)}$$

dimana : $x_i$ = nilai sampling

n = banyaknya sampling

o Mencari standart deviasi, dengan menggunakan persamaan (2.8) :

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

dimana $S(x_i)$ = standart deviasi

o Mencari ketidakpastian tipe A/ ESDM, dengan menggunakan persamaan (2.9) :

$$\boxed{SBRE/\ ESDM = S(\overline{x}) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}}}$$

❖ $U_{A2}$

o Sedangkan nilai SSR dinyatakan dengan persamaan :

$$SSR = \sum (y_i - a - b.x_i)^2 \quad \text{.....(2.10)}$$

Dimana :

SSR = Sum Square of Residual

$y_i$ = data pengukuran

a,b = konstanta

$x_i$ = setting

o Untuk menghitung nilai a dan b dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$a = \overline{y} - b.\overline{x} \quad \text{.....(2.11)}$$

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i . y_i - \left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} y_i\right]}{n\sum_{i=1}^{n} xi^{2} - \left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]} \quad .....(2.12)$$

dimana :

n = banyaknya data

- Sebaran data disekitar kurva dapat dijelaskan dengan suatu variasi Var yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Var} = \frac{SSR}{v} \quad ..... (2.13)$$

dimana :

v = bilangan derajat kebebasan
= n-2

- Perkiraan deviasi standart dari kurva dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$S = \sqrt{Var} \quad ..... (2.14)$$

- Ketidakpastian standartnya adalah :

$$U_{A2} = S \quad ..... (2.15)$$

***Analisa tipe B***

Pada analisa tipe B ini terdapat dua faktor yang mempengaruhi nilai ketidakpastian, yaitu nilai ketidakpastian alat standart yang diperoleh dari sertifikat kalibrasi alat standart yaitu sebesar 0.3 mmHg dan nilai resolusi dari spygmomanometer yaitu 2 mmHg.

Nilai ketidakpastian analisa tipe B ini besarnya sama untuk semua titik pengukuran.

- Sertifikat dengan menggunakan persamaan (2.16) :

$$U_{B1} = \frac{U_s}{k} \quad ..... (2.16)$$

dimana :

$U_{B1}$ = ketidakpastian dari sertifikat kalibrasi

k = bernilai 2 untuk tingkat kepercayaan 95 % dari U

$U_s$ = ketidakpastian sertifikat.

- Resolusi dengan menggunakan persamaan (2.19) :

$$U_{B2} = \frac{R}{2\sqrt{9}}$$

dimana : R = Resolusi spygmomanometer.

- ***Ketidakpastian kombinasi***

Ketidakpastian kombinasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21) dan :

$$U_C{}^2 = \sum_{i=1}^{n} U_i^2$$

$$U_c = \sqrt{U^2{}_{AI} + U^2{}_{A2} + U^2{}_{B1} + U^2{}_{B2}}$$

dimana : $U_C$ = Ketidakpastian gabungan (kombinasi)

$U_{A1}$ = Ketidakpastian tipe A jenis ke-1

$U_{A2}$ = Ketidakpastian tipe A jenis ke-2

$U_{B1}$= Ketidakpastian tipe B jenis ke-1

$U_{B2}$= Ketidakpastian tipe B jenis ke-2

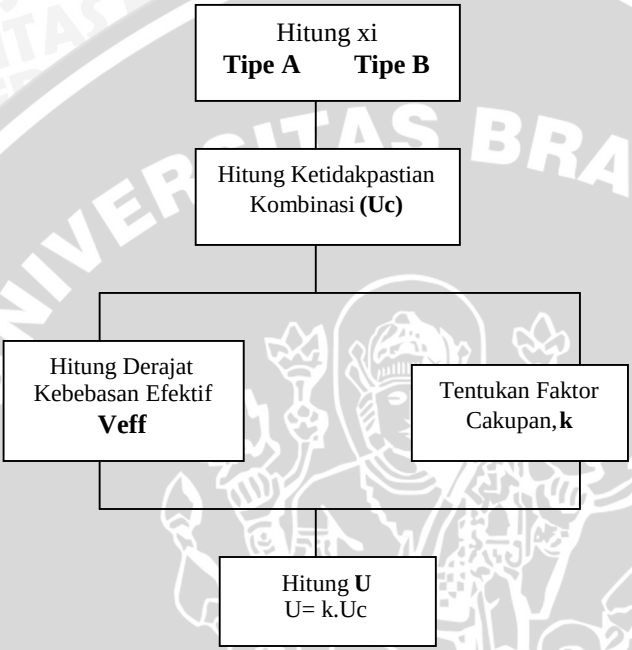
- ***Derajat kebebasan efektifitas***

Derajat kebebasan efektifitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21) :

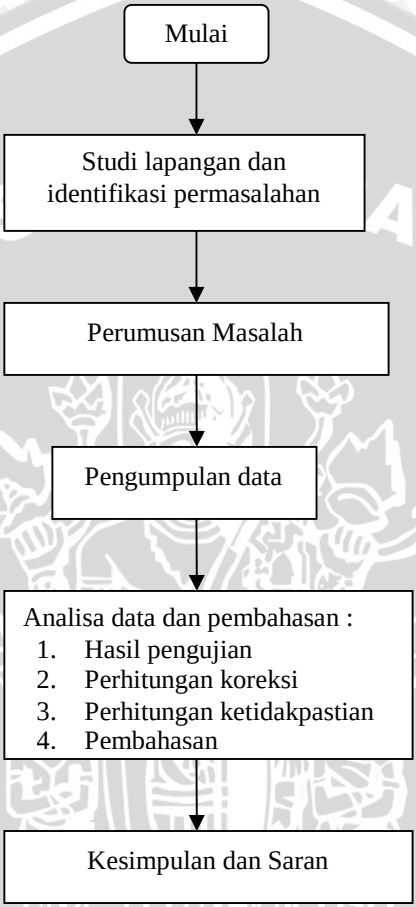
$$\boxed{\nu_{eff} = \frac{U_y^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{c_i^4 U^4(x_i)}{\nu_i}} = \frac{U_c^4}{\frac{U_{A1}^4}{\nu_{A1}} + \frac{U_{A2}^4}{\nu_{A2}} \frac{U_{B1}^4}{\nu_{B1}} + \frac{U_{B2}^4}{\nu_{B2}}}} \quad .....(2.22)$$

- ***Ketidakpastian Bentangan***

Ketidakpastian bentangan merupakan hasil akhir dari ketidakpastian pengukuran dapat dihitung dengan persamaan (2.23) : $U = k \times U_c$




Gambar. 3.6 Bagan ketidakpastian




Gambar.3.7 Gambar Metodologi penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB IV
# ANALISIS SISTEM KALIBRASI SPHYGMOMANOMETER MERCURY

## 4.1 Data Hasil Pengujian

Dari serangkaian prosedur percobaan yang telah dilakukan seperti yang tertulis pada bab III, maka didapatkan data-data seperti berikut :

*Kondisi ruang pada saat kalibrasi :*

1. Suhu : 25.2 °*C*
2. Kelembaban : 58.6 %

*Untuk sphygmomanometer 1 :*

- Nama alat : Sphygmomanometer
- Merk : Riester
- Model/ tipe : Nova-Presameter
- No.seri : 20250
- Resolusi : 2 mmHg
- Rentang ukur : 0 – 300 mmHg

Selain informasi diatas, juga didapatkan data histories dari sphygmomanometer 1, yaitu :

Spygmomanometer mercury tersebut telah digunakan selama kurang lebih 4 tahun dengan frekuensi pemakaian 3 kali perhari, instrument tersebut dirawat secara teratur, pernah diganti bulbnya (pompa) setelah dua tahun penggunaanya dan belum pernah dikalibrasi.

*Untuk sphygmomanometer 2 :*

- Nama alat : Sphygmomanometer
- Merk : Riester
- Model/ tipe : Nova-Presameter
- No.seri : 50880
- Resolusi : 2 mmHg
- Rentang ukur : 0 – 300 mmHg

Selain informasi diatas, juga didapatkan data histories dari sphygmomanometer 2, yaitu :

Spygmomanometer mercury tersebut telah digunakan selama kurang lebih 4 tahun dengan frekuensi pemakaian 8 kali sehari, instrument tersebut dirawat secara teratur, pernah diganti bulbnya setelah 1,5 tahun dan 3,5 tahun penggunaan, juga pernah diganti mansetnya setelah 3 tahun penggunaan dan belum pernah dikalibrasi.

*Untuk sphygmomanometer 3 :*

- Nama alat : Sphygmomanometer
- Merk : Riester
- Model/ tipe : Nova-Presameter
- No.seri : 006396
- Resolusi : 2 mmHg
- Rentang ukur : 0 – 300 mmHg

Selain informasi diatas, juga didapatkan data histories dari sphygmomanometer 3, yaitu :

Spygmomanometer mercury tersebut telah digunakan selama kurang lebih 4 tahun dengan frekuensi pemakaian 6 kali perhari, instrument tersebut tidak dirawat secara teratur, pernah mengalami kerusakan yaitu penggantian bulb setelah 1.5 tahun (18 bulan) dan 3 tahun (36 bulan) dan belum pernah dikalibrasi.

*Untuk sphygmomanometer 4 :*

- Nama alat : Sphygmomanometer
- Merk : Riester
- Model/ tipe : Nova-Presameter
- No.seri : 50887
- Resolusi : 2 mmHg
- Rentang ukur : 0 – 300 mmHg

Selain informasi diatas, juga didapatkan data histories dari sphygmomanometer 4, yaitu :

Spygmomanometer mercury tersebut telah digunakan selama kurang lebih 4 tahun dengan frekuensi pemakaian 5 kali perhari, instrument tersebut tidak dirawat secara teratur, pernah mengalami kerusakan yaitu penggantian bulb pada tahun ke-2 (24 bulan) dan pada tahun ke-3 (36 bulan) setelah penggunaannya, juga pernah

terjadi penggantian manset setelah 3 tahun penggunaan dan belum pernah dikalibrasi.

## 4.2 Perhitungan Koreksi

Dari data-data diatas dapat dicari nilai koreksi untuk tiap-tiap titik pengukuran dan nilai kepastian pengukuran. Untuk nilai koreksi dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.1) dan persamaan (3.2) dibawah ini :

$$PST = PS + Fk$$
$$K = PST - PA$$

Faktor korelasi pada table 4.9 dibawah ini didapatkan dari sertifikat kalibrasi NIBP(kalibrator) :

**Tabel 4.1 Faktor korelasi**

| Tekanan (mmHg) | Naik (mmHg) | Turun (mmHg) |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0.01 | 0.19 |
| 100 | -0.05 | 0.59 |
| 150 | -0.07 | 0.24 |
| 200 | 0.18 | 0.32 |
| 250 | 0.25 | 0.5 |

Dari persamaan (3.1) dan (3.2) dapat dicari koreksi dari tiap-tiap titik pengukuran, misalnya yaitu :

- Titik 50 MMhg

  $PST = PS + Fk$
  $= 50 \text{ mmHg} + 0.01 \text{ mmHg}$
  $= 50.01 \text{ mmHg}$

  $K = PST - PA$
  $= 50.01 \text{ mmHg} - 51 \text{ mmHg}$
  $= -0.99 \text{ mmHg}$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

## 4.3 Perhitungan Ketidakpastian

Nilai ketidakpastian pengukuran diperoleh dari dua macam analisa tipe A dan analisa tipe B. Untuk analisa tipe A ($U_{A1}$) dapat dipergunakan persamaan (2.7), (2.8) dan (2.9), sedangkan untuk $U_{A2}$ menggunakan persamaan (2.10) sampai dengan persamaan (2.15). Untuk analisa tipe B ($U_{B1}$) dapat digunakan persamaan (2.16), sedangkan untuk $U_{B2}$ menggunakan persamaan (2.19).Untuk menghitung ketidakpastian kombinasi digunakan persamaan (2.21) dan untuk menghitung derajat kebebasan efektifitas dapat menggunakan persamaan (2.22). Ketidakpastian bentangan (Expanded Uncertainty), $U_{exp}$ dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.23).

### *4.3.1 Analisa tipe A*

***Spygmomanometer I***

- $U_{A1}$

  - Mencari rata-rata dengan menggunakan persamaan (2.7) dibawah ini :

$$\boxed{\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i)}$$

Data yang dihitung nilai rata-ratanya adalah pembacaan standart, pembacaan alat dan koreksi.

  - Mencari standart deviasi, dengan menggunakan persamaan (2.8) :

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

Dimana n=5, karena pengukuran dilakukan lima kali disetiap titiknya. Misalnya untuk titik 50 mmHg pada spygmomanometer I adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.4 Standart deviasi pengukuran naik sphygmomanometer 1 (50)**

| Pengukuran | Pembacaan Alat (x) | $\left(\bar{x}\right)$ | $\left(x-\bar{x}\right)$ | $\left(x-\bar{x}\right)^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|
| Naik 1 | 51 | 50,8 | 0,2 | 0,04 | |
| Naik 2 | 51 | 50,8 | 0,2 | 0,04 | |
| Naik 3 | 50 | 50,8 | -0,8 | 0,64 | |
| Naik 4 | 51 | 50,8 | 0,2 | 0,04 | |
| Naik 5 | 51 | 50,8 | 0,2 | 0,04 | |
| | 50,8 | Jumlah | | 0,8 | 0,44 |

Dari tabel diatas standar deviasi :

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

$$S(x_i) = \sqrt{\frac{0.8}{4}} = 0.44 \text{ mmHg}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan data rata-rata dan nilai standart deviasi seperti yang terdapat pada tabel 4.5 dibawah ini :

**Tabel 4.5 Hasil perhitungan standart deviasi pengukuran naik**

| Setting Alat Standart (mmHg) | rata-rata Spyggmomanometer 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | Standart deviasi Spyggmomanometer 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.4 | 0 | 3.2 | 3.2 | 0.8 | 0 | 1.09 | 1.09 |
| 50 | 50.8 | 50.8 | 53.8 | 53.6 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.89 |
| 100 | 101.2 | 100.2 | 103.8 | 103.8 | 044 | 1.2 | 0.44 | 0.44 |
| 150 | 150.6 | 150.2 | 153.8 | 153.8 | 0.54 | 0.44 | 0.44 | 0.44 |
| 200 | 201.2 | 200.4 | 203.8 | 203.6 | 0.44 | 0.54 | 0.44 | 0.54 |
| 250 | 250.6 | 250. 4 | 253.8 | 253.8 | 0.54 | 0.54 | 0.80 | 0.44 |

Dibawah ini terdapat tabel hasil perhitungan standart deviasi untuk pengukuran turun :

**Tabel 4.6 Hasil perhitungan standart deviasi pengukuran turun**

| Setting Alat Standart (mmHg) | rata-rata Spyggmomanometer 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | Standart deviasi Spyggmomanometer 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 249.8 | 250.2 | 253.8 | 253.8 | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.44 |
| 200 | 202 | 201.4 | 204.4 | 204.2 | 0 | 0.89 | 0.54 | 0.44 |
| 150 | 151.6 | 151.8 | 153.8 | 153.8 | 0.54 | 0.44 | 0.44 | 0.44 |
| 100 | 101.6 | 101.6 | 104.2 | 104.2 | 0.54 | 0.54 | 1.04 | 0.44 |
| 50 | 51.6 | 52 | 53.6 | 53.8 | 0.54 | 0 | 0.54 | 0.44 |
| 0 | 1.6 | 1 | 3.6 | 3.8 | 0.54 | 0 | 0.89 | 0.44 |

- Mencari ketidakpastian tipe A/ ESDM, dengan menggunakan persamaan (2.9) :

$$SBRE/\ ESDM = S(\bar{x}) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}}$$

Misalnya untuk spygmomanometer 1 :

$$ESDM = \frac{0.44}{\sqrt{5}} = 0.2$$

Dilakukan juga perhitungan yang sama dalam mencari ESDM yang lain seperti yang terdapat pada tabel dibawah ini:

**Tabel 4.7 Hasil perhitungan ESDM pengukuran naik**

| Setting Alat Standart (mmHg) | ESDM Spyggmomanometer 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.4 | 0 | 0.48 | 0.48 |
| 50 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 |
| 100 | 0.2 | 0.53 | 0.2 | 0.2 |
| 150 | 0.24 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 200 | 0.2 | 0.24 | 0.2 | 0.24 |
| 250 | 0.24 | 0.24 | 0.36 | 0.2 |

Dibawah ini merupakan tabel hasil perhitungan ESDM untuk pengukuran turun.

**Tabel 4.8 Hasil perhitungan ESDM pengukuran turun**

| Setting Alat Standart (mmHg) | ESDM Spyggmomanometer 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) |
|---|---|---|---|---|
| 250 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 200 | 0 | 0.4 | 0.24 | 0.2 |
| 150 | 0.24 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| 100 | 0.24 | 0.24 | 0.2 | 0.2 |
| 50 | 0.24 | 0 | 0.46 | 0.2 |
| 0 | 0.24 | 0 | 0.4 | 0.2 |

❖ $U_{A2}$

Untuk lebih mempermudah perhitungan, maka data setting dan data rata-rata pembacaan alat dibuat tabel seperti dibawah ini :

**Tabel 4.9 Standart deviasi pengukuran naik sphygmomanometer 1 pada titik 50**

| | setting (mmHg) xi | pembacaan alat yi | (xi.yi) | $xi^2$ |
|---|---|---|---|---|
| | 0 | 0.4 | 0 | 0 |
| | 50 | 50.8 | 2540 | 2500 |
| | 100 | 101.2 | 10120 | 10000 |
| | 150 | 150.6 | 22590 | 22500 |
| | 200 | 201.2 | 40240 | 40000 |
| | 250 | 250.6 | 62650 | 62500 |
| jumlah | 750 | 754.8 | 138140 | 137500 |

- Mencari konstanta b

$$b = \frac{n\sum_{i=1}^{n} x_i.y_i - \left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]\left[\sum_{i=1}^{n} y_i\right]}{n\sum_{i=1}^{n} xi^2 - \left[\sum_{i=1}^{n} x_i\right]}$$

$$b = \frac{6x138140 - (750)(754.8)}{6x137500 - (750)^2}$$

b= 1.00

- Mencari konstanta a

$$a = \overline{y} - b.\overline{x}$$

a = 125.8 – (1.0 x 125)

a = 0.8

- Mencari SSR

$$SSR = \sum \left(y_i - a - b.x_i\right)^2$$

$SSR$ = 16

- Mencari ketidakpastian standart

$$Var = \frac{SSR}{v}$$

$$Var = \frac{16}{4}$$

$$Var = 4$$

$$S = \sqrt{Var}$$

$$S = \sqrt{4}$$

$$S = 2$$

$$U_{A2} = S$$

$$U_{A2} = 2$$

Jadi ketidakpastian standart untuk metode kuadrat terkecil adalah ± 2

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (2.10) sampai dengan persamaan (2.15), maka didapatkan nilai ketidakpastian dari SSR seperti berikut :

**Tabel 4.10 Hasil perhitungan Ketidakpastian SSR pengukuran naik**

| | Sphygmomanometer | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) |
| a | 0.8 | 0.33 | 3.7 | 3.63 |
| b | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| SSR | 16 | 2.78 | 342.25 | 330.14 |
| Var | 4 | 0.69 | 85.5 | 82.5 |
| s | 2 | 0.8 | 9.2 | 9.08 |

**Tabel 4.11 Hasil perhitungan Ketidakpastian SSR pengukuran turun**

| | Sphygmomanometer | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) |
| a | 1.36 | 1.33 | 3.9 | 3.9 |
| b | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| SSR | 46.78 | 46.78 | 380.25 | 388.09 |
| Var | 11.69 | 11.12 | 95 | 97.0 |
| s | 3.42 | 3.33 | 9.75 | 9.85 |

### *4.3.2 Analisa tipe B*

Pada analisa tipe B ini terdapat dua faktor yang mempengaruhi nilai ketidakpastian alat standart yang diperoleh dari sertifikat kalibrasi alat standart yaitu sebesar 0.3 mmHg dan nilai resolusi dari spygmomanometer yaitu 2 mmHg.

Nilai ketidakpastian pada analisa tipe B ini besarnya sama untuk semua titik pengukuran dan untuk semua sphygmomanometer yang diambil datanya pada proses kalibrasi ini.

- Sertifikat dengan menggunakan persamaan (2.16)

$$U_{B1} = \frac{U_s}{k}$$

$$U_{B1} = \frac{0.3}{2}$$

$U_{B1}$ = 0.15 mmHg

Dengan derajat kebebasan $V_{bi} = \infty$

- Resolusi dengan menggunakan persamaan (2.19)

$$U_{B2} = \frac{R}{2\sqrt{9}}$$

$$U_{B2} = \frac{2}{2\sqrt{9}}$$

$U_{B2}$ = 0.33 mmHg

Dengan derajat kebebasan $V_{B2} = \infty$

Bentuk ini dapat diasumsikan untuk ketidakpastian yang menegaskan suatu interval kepercayaan yang dapat menghasilkan nilai kepercayaan 95 % atau 99 .

### *4.3.3 Ketidakpastian Kombinasi*

Ketidakpastian kombinasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21)

$$U_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} Ui^2}$$

$$U_c = \sqrt{U^2{}_{AI} + U^2{}_{A2} + U^2{}_{B1} + U^2{}_{B2}}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Hasil atau nilai ketidakpastian kombinasi digunakan untuk mencari atau menghitung nilai derajat kebebasan efektif (Veff) yang nantinya digunakan untuk menentukan faktor cakupan (k) atau Confident level (CL) dan menentukan hasil akhir dari perhitungan ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$). Pada metode OIML R16 ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) yang direkomendasikan ± 7 mmHg.

### *4.3.4 Derajat Kebebasan Efektif*

Derajat efektifitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.21) :

$$v_{eff} = \frac{U_y^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{c_i^4 U^4(x_i)}{v_i}} = \frac{U_c^4}{\frac{U_{A1}^4}{v_{A1}} + \frac{U_{A2}^4}{v_{A2}} + \frac{U_{B1}^4}{v_{B1}} + \frac{U_{B2}^4}{v_{B2}}}$$

$$v_{eff} = \frac{U_y^4(y)}{\sum_{i=1}^{n} \frac{c_i^4 U^4(x_i)}{v_i}} = \frac{(2.04)^4}{\frac{(0.2)^4}{4} + \frac{(2)^4}{4} + \frac{(0.15)^4}{\infty} + \frac{(0.33)^4}{\infty}}$$

$v_{eff}$ = 43.50

Setelah dilihat dari tabel T-student:maka nilai k pada tingkat kepercayaan 95% adalah 2.020.

Untuk titik pengukuran yang lain, hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 4.14 Hasil perhitungan Veff untuk nilai k untuk pengukuran naik**

| Setting Alat Standart (mmHg) | Veff | | | | k (CL=95%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Spygmomanometer | | | | Spygmomanometer | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0 | 2.8 | 0.0 | 546.2 | 518.4 | 3.18 | 1.96 | 1.98 | 1.98 |
| 50 | 43.5 | 2.0 | 17.9 | 2.0 | 2.02 | 4.3 | 2.1 | 4.3 |
| 100 | 43.5 | 56.2 | 17.9 | 17.1 | 2.02 | 2.01 | 2.1 | 2.11 |
| 150 | 21.1 | 2.0 | 17.9 | 17.1 | 2.09 | 4.3 | 2.1 | 2.11 |
| 200 | 43.5 | 828.6 | 17.9 | 8.2 | 2.02 | 1.98 | 2.1 | 2.11 |
| 250 | 21.1 | 828.6 | 2.0 | 17.1 | 2.09 | 1.98 | 4.3 | 2.11 |

**Tabel 4.15 Hasil perhitungan Veff untuk nilai k untuk pengukuran turun**

| Setting alat standart (mmHg) | Veff | | | | k (CL=95%) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Spygmomanometer | | | | Spygmomanometer | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 250 | 352.1 | 317.0 | 22.6 | 23.6 | 1.98 | 1.98 | 2.09 | 2.09 |
| 200 | 0.0 | 20.2 | 10.9 | 23.6 | 1.96 | 2.09 | 2.2 | 2.09 |
| 150 | 170.3 | 317.0 | 22.6 | 23.6 | 1.98 | 1.98 | 2.09 | 2.09 |
| 100 | 170.3 | 153.3 | 22.6 | 23.6 | 1.98 | 1.98 | 2.09 | 2.09 |
| 50 | 170.3 | 0.0 | 815.4 | 23.6 | 1.98 | 1.98 | 1.98 | 2.09 |
| 0 | 170.3 | 0.0 | 1.4 | 23.6 | 1.98 | 1.98 | 4.3 | 2.09 |

### *4.3.5 Ketidakpastian Bentangan*

Ketidakpastian bentangan merupakan hasil akhir dari perhitungan ketidakpastian pengukuran nilai tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.22) :

$$U = k \, x \, U_c$$

**Tabel 4.16 Nilai ketidakpastian bentangan (Uexp) pengukuran naik untuk sphygmomanometer 1**

| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 0 | 3.18 | 2.07 | 6.58 |
| 50 | 2.02 | 2.04 | 4.12 |
| 100 | 2.02 | 2.04 | 4.12 |
| 150 | 2.09 | 2.05 | 4.28 |
| 200 | 2.02 | 2.04 | 4.12 |
| 250 | 2.09 | 2.05 | 4.28 |

**Tabel 4.17 Nilai ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) pengukuran turun untuk sphygmomanometer 1**

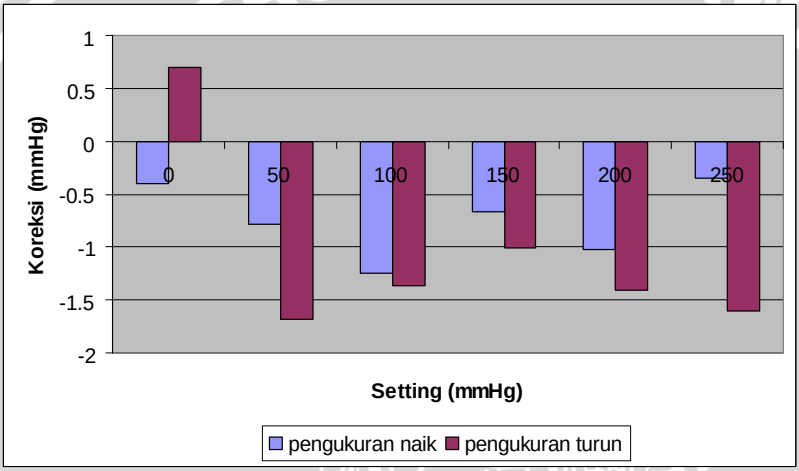
| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 250 | 1.98 | 3.44 | 6.8112 |
| 200 | 1.96 | 3.44 | 6.7424 |
| 150 | 1.98 | 3.55 | 7.029 |
| 100 | 1.98 | 3.55 | 7.029 |
| 50 | 1.98 | 3.55 | 7.029 |
| 0 | 1.98 | 3.55 | 7.029 |

Data hasil perhitungan ketidakpastian bentangan menggunakan metode OIML R16 untuk sphygmomanometer 2,3 4 terlampir.

## 4.4 Pembahasan

Pada data hasil kalibrasi pengukuran naik dan pengukuran turun pada setting alat standart yang sama terlihat perbedaan, hal tersebut terjadi karena adanya histeries pada alat.

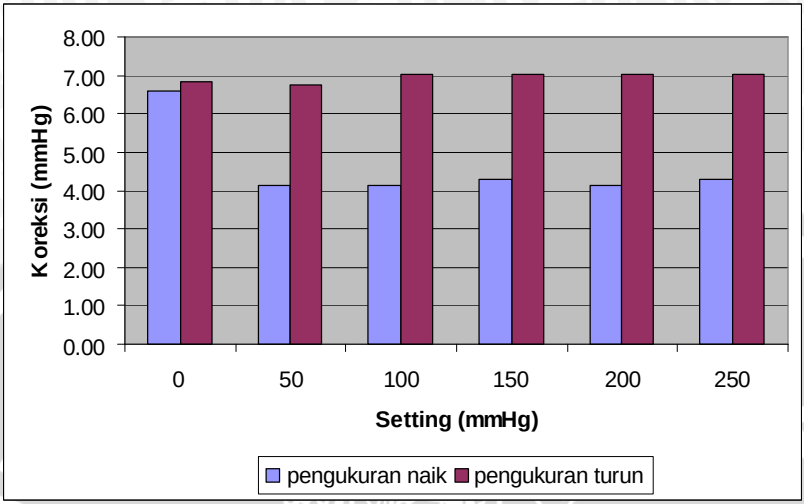
Setelah dilakukan analisis data hasil proses kalibrasi maka diperoleh nilai koreksi dan nilai pengukuran untuk tiap-tiap titik pengukuran masing-masing sphygmomanometer. Untuk lebih jelasnya maka hasil perhitungan tersebut dibuat grafik seperti gambar di bawah berikut ini :




Grafik 4.1 Hubungan koreksi dengan setting pada sphygmomanometer 1

Grafik hubungan koreksi dengan setting untuk sphygmomanometer 2,3,4 ter lampir.

Pada grafik 4.1 diatas terlihat bahwa nilai koreksi terbesar adalah -1.25mmHg untuk pengukuran naik dan +0.7mmHg untuk untuk pengukuran turun yaitu kurang dari ±3 mmHg. Hal tersebut berarti sphygmomanometer 1 layak untuk digunakan karena koreksinya kurang dari simpangan yang telah ditentukan oleh OIML yaitu tidak boleh lebih dari ± 3 mmHg.




Grafik 4.2 Hubungan $U_{exp}$ dengan setting pada sphygmomanometer 1

Dari grafik 4.2 terlihat bahwa nilai ketidakpastian bentangan paling besar adalah 6.5mmHg untuk pengukuran naik dan 7.0mmHg untuk pengukuran turun, hal tersebut berati bahwa nilai sebenarnya dari sphygmomanometer 1 adalah nilai pengukuran alat ± 6.5mmHg untuk pengukuran naik dan ±7.0mmHg untuk pengukuran turun. Hal tersebut berarti sphygmomanometer 1 layak untuk digunakan karena pada metode OIML R16 ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) yang direkomendasikan ± 7 mmHg.

Dari keempat sphygmomanometer mercury yang telah dianalisa dapat dibuat tabel perbandingan hasil analisa seperti tabel dibawah ini :

**Tabel 4.18 Tabel perbandingan hasil analisa OIML R16**

| | Sphygmomanometer | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Ketidakpastian bentangan** | 1 | 2 | 3 | 4 |
| -Pengukuran naik | ±6.58 | ±3.87 | ±39.6 | ±20.9 |
| -Pengukuran turun | ±7.0 | ±7.0 | ±41.9 | ±20.6 |
| **Koreksi** | | | | |
| **-Pengukuran naik :** | | | | |
| Titik 0 mmHg | -0.4 | 0 | -3.2 | -3.2 |
| Titik 50 mmHg | -0.79 | -0.79 | -3.79 | -3.59 |
| Titik 100 mmHg | -1.25 | -0.25 | -3.85 | -3.85 |
| Titik 150 mmHg | -0.67 | -0.27 | -3.87 | -3.87 |
| Titik 200 mmHg | -1.02 | -0.22 | -3.62 | -3.42 |
| Titik 250 mmHg | -0.35 | -0.15 | -3.55 | -3.55 |
| **-Pengukuran turun :** | | | | |
| Titik 250 mmHg | 0.7 | 0.3 | -3.33 | -3.33 |
| Titik 200 mmHg | -1.68 | -1.08 | -4.08 | -3.88 |
| Titik 150 mmHg | -1.36 | -1.56 | -3.56 | -3.56 |
| Titik 100 mmHg | -1.01 | -1.01 | -3.61 | -3.61 |
| Titik 50 mmHg | -1.41 | -1.81 | -3.41 | -3.61 |
| Titik 0 mmHg | -1.61 | -1 | -3.6 | -3.8 |

Dari tabel diatas terlihat bahwa bahwa hasil kalibrasi menggunakan metode OIML R16 Untuk sphygmomanometer yang dirawat secara teratur yaitu sphygmomanometer 1 dan 2 dengan merk dan tipe yang sama untuk metode OIML R16 nilai koreksi terbesar adalah +0.7mmHg, nilai tersebut kurang ±3 mmHg yaitu nilai koreksi batas maksimal yang direkomendasikan dalam penggunaan metode OIML R16. Begitu pula untuk sphygmomanometer yang tidak dirawat secara teratur yaitu sphygmomanometer 3 dan 4 dari penggunaan metode yang sama OIML R16 mempunyai nilai koreksi terbesar -4.08mmHg lebih dari ±3mmHg yaitu nilai koreksi batas maksimal yang direkomendasikan dalam penggunaan metode OIML R16. Setelah dilakukan analisa dari hasil nilai koreksi menunjukan penggunaan metode OIML R16 dapat menghasilkan nilai koreksi yang lebih kecil. Hal tersebut

dikarenakan sebelum proses kalibrasi untuk metode OIML R16 dilakukan pengecekan dan maintenance instrument terlebih dahulu.

Dari tabel diatas juga terlihat bahwa bahwa hasil kalibrasi menggunakan metode OIML R16 hasil tersebut juga dipengaruhi oleh nilai koreksi sphygmomanometer, jika nilai koreksi besar maka ketidakpastian bentangannya pun besar, begitu pula sebaliknya apabila nilai koreksinya kecil maka ketidakpastian bentangannya pun kecil. Untuk sphygmomanometer yang dirawat secara teratur yaitu sphygmomanometer 1 dan 2 dengan merk dan tipe yang sama untuk metode OIML R16 nilai ketidakpastian bentangannya terbesar adalah +7mmHg, Hal tersebut berarti sphygmomanometer 1 dan 2 layak untuk digunakan karena pada metode OIML R16 ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) yang direkomendasikan ± 7 mmHg. Begitu pula untuk sphygmomanometer yang tidak dirawat secara teratur yaitu sphygmomanometer 3 dan 4 dari kedua metode yang digunakan sama-sama mempunyai nilai ketidakpastian bentangan terbesar +42mmHg, lebih dari ±7mmHg yaitu nilai ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) yang direkomendasikan dalam penggunaan metode OIML R16. Setelah dilakukan analisa dari hasil nilai ketidakpastian bentangan menunjukan penggunaan metode OIML R16 dapat menghasilkan nilai koreksi yang lebih kecil, hal tersebut dikarenakan sebelum proses kalibrasi untuk metode OIML R16 dilakukan pengecekan dan maintenance instrument terlebih dahulu.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Setelah dilakukan proses kalibrasi terhadap sphygmomanometer mercury menggunakan DPM4-1G metode OIML R16 maka didapatkan data-data sebagai berikut dan perhitungan koreksi dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini :

**Tabel 4.2 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran naik sphygmomanometer 1**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | -2 | 0 | 0 | 0 | -0.4 |
| 50 | 0.01 | 50.01 | 51 | 51 | 50 | 51 | 51 | -0.99 | -0.99 | 0.01 | -0.99 | -0.99 | -0.79 |
| 100 | -0.05 | 99.95 | 101 | 102 | 101 | 101 | 101 | -1.05 | -2.05 | -1.05 | -1.05 | -1.05 | -1.25 |
| 150 | -0.07 | 149.93 | 150 | 151 | 151 | 151 | 150 | -0.07 | -1.07 | -1.07 | -1.07 | -0.07 | -0.67 |
| 200 | 0.18 | 200.18 | 202 | 201 | 201 | 201 | 201 | -1.82 | -0.82 | -0.82 | -0.82 | -0.82 | -1.02 |
| 250 | 0.25 | 250.25 | 250 | 251 | 251 | 251 | 250 | 0.25 | -0.75 | -0.75 | -0.75 | 0.25 | -0.35 |

**Tabel 4.3 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran turun sphygmomanometer 1**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 250 | 0.5 | 250.5 | 250 | 250 | 249 | 250 | 250 | 0.5 | 0.5 | 1.5 | 0.5 | 0.5 | 0.7 |
| 200 | 0.32 | 200.32 | 202 | 202 | 202 | 202 | 202 | -1.68 | -1.68 | -1.68 | -1.68 | -1.68 | -1.68 |
| 150 | 0.24 | 150.24 | 151 | 152 | 152 | 152 | 151 | -0.76 | -1.76 | -1.76 | -1.76 | -0.76 | -1.36 |
| 100 | 0.59 | 100.59 | 101 | 102 | 102 | 102 | 101 | -0.41 | -1.41 | -1.41 | -1.41 | -0.41 | -1.01 |
| 50 | 0.19 | 50.19 | 51 | 52 | 52 | 52 | 51 | -0.81 | -1.81 | -1.81 | -1.81 | -0.81 | -1.41 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | -1 | -2 | -2 | -2 | -1 | -1.6 |

Data hasil perhitungan koreksi pengukuran naik dan turun sphygmomanometer 2,3 dan 4 terlampir.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB V
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1 KESIMPULAN

Setelah melakukan prosedur kalibrasi dan melakukan analisa kalibrasi, maka dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain yaitu :

- Kalibrasi sphygmomanometer mercury menggunakan DPM4-1G metode OIML R16 yang dirawat secara teratur mempunyai nilai koreksi yang lebih kecil yaitu sebesar -1.81 mmHg sampai dengan +0.7mmHg (nilai koreksinya tidak lebih dari ±3 mmHg) sehingga masih layak digunakan. Untuk spygmomanometer yang tidak dirawat secara teratur memiliki nilai koreksi terbesar diatas -3.2mmHg sampai dengan -4.08 mmHg lebih dari ±3mmHg yaitu nilai koreksi batas maksimal yang direkomendasikan dalam penggunaan metode OIML R16.
- Nilai ketidakpastian bentangan (expanded) untuk sphygmomanometer mercury yang dirawat secara teratur menggunakan metode OIML R16 adalah +3.87mmHg sampai +7mmHg berarti masih layak untuk digunakan karena pada metode OIML R16 ketidakpastian bentangan ($U_{exp}$) yang direkomendasikan ±7mmHg. Sedangkan untuk sphygmomanometer yang tidak dirawat secara teratur menggunakan metode OIML R16 mempunyai nilai ketidakpastian bentangan (expanded) sebesar +20.6mmHg sampai +41.9mmHg lebih dari ±7mmHg nilai ketidakpastian bentangan yang direkomendasikan oleh OIML R16 dan tidak layak untuk digunakan.
- Dari hasil analisa diatas dapat diketahui bahwa nilai koreksi dari kalibrasi menggunakan metode OIML R16 lebih kecil. Begitu pula untuk nilai ketidakpastian bentangan dari kalibrasi menggunakan metode OIML R16 lebih kecil. Hal ini disebabkan pada metode OIML R16 terdapat proses pengecekan dan maintenance instrument sebelum dilakukan proses kalibrasi.
- Hasil kalibrasi menggunakan metode OIML R16 juga sangat dipengaruhi oleh nilai koreksi sphygmomanometer, jika nilai koreksinya besar maka nilai ketidakpastian bentangannya

pun besar begitu pun sebaliknya jika nilai koreksinya kecil maka nilai ketidakpastian bentangannya pun kecil.

## 5.2 SARAN

Dalam penyelesaian tugas akhir ini terdapat beberapa kendala, supaya hal tersebut tidak terjadi lagi, maka disarankan untuk :

- Melakukan maintenance sebelum dilakukan kalibrasi seperti metode OIML R16, agar hasil ketidakpastian kecil.
- Mencari alat standart yang nilai korelasinya lebih kecil agar nilai koreksi dari alat yang dikalibrasi menjadi lebih kecil.

$$U_c = \sqrt{U^2{}_{AI} + U^2{}_{A2} + U^2{}_{B1} + U^2{}_{B2}}$$

**Tabel 4.12 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk sphygmomanometer 1**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | Veff | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.4 | 2 | 0.15 | 0.33 | 0.16 | 4 | 0.0225 | 0.1089 | 4.2914 | 2.07 | 2,881.52 | 3.18 |
| 50 | 0.2 | 2 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 4 | 0.0225 | 0.1089 | 4.1714 | 2.04 | 43,505.44 | 2.02 |
| 100 | 0.2 | 2 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 4 | 0.0225 | 0.1089 | 4.1714 | 2.04 | 43,505.44 | 2.02 |
| 150 | 0.24 | 2 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 4 | 0.0225 | 0.1089 | 4.189 | 2.05 | 21,160.11 | 2.09 |
| 200 | 0.2 | 2 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 4 | 0.0225 | 0.1089 | 4.1714 | 2.04 | 43,505.44 | 2.02 |
| 250 | 0.24 | 2 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 4 | 0.0225 | 0.1089 | 4.189 | 2.05 | 21,160.11 | 2.09 |

**Tabel 4.13 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk sphygmomanometer 1**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | Veff | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 0.2 | 3.42 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 11.7 | 0.0225 | 0.1089 | 11.868 | 3.44 | 352,145.89 | 1.98 |
| 200 | 0 | 3.42 | 0.15 | 0.33 | 0 | 11.7 | 0.0225 | 0.1089 | 11.828 | 3.44 | 0.00 | 1.96 |
| 150 | 0.24 | 3.42 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 11.7 | 0.0225 | 0.1089 | 11.885 | 3.45 | 170,345.17 | 1.98 |
| 100 | 0.24 | 3.42 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 11.7 | 0.0225 | 0.1089 | 11.885 | 3.45 | 170,345.17 | 1.98 |
| 50 | 0.24 | 3.42 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 11.7 | 0.0225 | 0.1089 | 11.885 | 3.45 | 170,345.17 | 1.98 |
| 0 | 0.24 | 3.42 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 11.7 | 0.0225 | 0.1089 | 11.885 | 3.45 | 170,345.17 | 1.98 |

Data hasil perhitungan ketidakpastian kombinasi menggunakan metode OIML R-16 untuk sphygmomanometer 2,3 4 terlampir

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

# DAFTAR PUSTAKA


John G. Webter.(1995). "**Medical Instrumentation Application and Design**", John Wiley & Sons, Inc.

ND Markadu, F Whicther, A Arnold and C Carney," **The Mercury sphygmomanometer should be abonded before it proscribed**", www.nature.com

Mike Yeats, "**Maintenance of a mercury sphygmomanometer**", www.nda.ox.ac.uk

"**History of blood pressure measurement**" www.medphys.ucl.ac.uk

"**How to measure blood pressure using sphygmomanometer**" www.medphys.ucl.ac.uk

"**Pelatihan Terpadu**", Puslit KIM-LIPI, 2003

Pushpa Yadav,Geeta Duggal, AK Agarwal, S Churgh, New delhi, www.Indegene.com

www.somalco.com

John P.Bentley, "**Principles of Measurement system**" Third edition.

www.bewserver.eepis-its.edu

www.biomedEquip.com

dr.J.F Grabiel, "**Fisika kedokteran**", penerbit buku kedokteran ECG,1996.

Ruslan Hani, Ahmadi, **" Fisika Kesehatan"**, penerbit Mitra Cendikia Press Jogjakarta,2007.

**"Training Series KALIBRASI Sphygmomanometer & Suction Pump"**, BPFK Surabaya, 2006

**"Modul Pelatihan KALIBRASI KELISTRIKAN"**, Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 2004

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 1 Data perhitungan koreksi sphygmomanometer metode OIML R16

**Tabel L.1.1 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran naik sphygmomanometer 2**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 0.01 | 50.01 | 50 | 51 | 51 | 51 | 51 | 0.01 | -0.99 | -0.99 | -0.99 | -0.99 | -0.79 |
| 100 | -0.05 | 99.95 | 100 | 100 | 101 | 100 | 100 | -0.05 | -0.05 | -1.05 | -0.05 | -0.05 | -0.25 |
| 150 | -0.07 | 149.93 | 150 | 150 | 151 | 150 | 150 | -0.07 | -0.07 | -1.07 | -0.07 | -0.07 | -0.27 |
| 200 | 0.18 | 200.18 | 200 | 201 | 200 | 201 | 200 | 0.18 | -0.82 | 0.18 | -0.82 | 0.18 | -0.22 |
| 250 | 0.25 | 250.25 | 251 | 250 | 250 | 250 | 251 | -0.75 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | -0.75 | -0.15 |

**Tabel L.1.2 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran turun sphygmomanometer 2**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 250 | 0.5 | 250.5 | 250 | 250 | 251 | 250 | 250 | 0.5 | 0.5 | -0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 |
| 200 | 0.32 | 200.32 | 201 | 202 | 202 | 200 | 202 | -0.68 | -1.68 | -1.68 | 0.32 | -1.68 | -1.08 |
| 150 | 0.24 | 150.24 | 152 | 152 | 151 | 152 | 152 | -1.76 | -1.76 | -0.76 | -1.76 | -1.76 | -1.56 |
| 100 | 0.59 | 100.59 | 101 | 102 | 102 | 102 | 101 | -0.41 | -1.41 | -1.41 | -1.41 | -0.41 | -1.01 |
| 50 | 0.19 | 50.19 | 52 | 52 | 52 | 52 | 52 | -1.81 | -1.81 | -1.81 | -1.81 | -1.81 | -1.81 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel L.1.3 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran naik sphygmomanometer 3**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 4 | 2 | -2 | -4 | -4 | -4 | -2 | -3.2 |
| 50 | 0.01 | 50.01 | 54 | 53 | 54 | 54 | 54 | -3.99 | -2.99 | -3.99 | -3.99 | -3.99 | -3.79 |
| 100 | -0.05 | 99.95 | 104 | 104 | 104 | 103 | 104 | -4.05 | -4.05 | -4.05 | -3.05 | -4.05 | -3.85 |
| 150 | -0.07 | 149.93 | 154 | 154 | 154 | 154 | 153 | -4.07 | -4.07 | -4.07 | -4.07 | -3.07 | -3.87 |
| 200 | 0.18 | 200.18 | 204 | 204 | 204 | 203 | 204 | -3.82 | -3.82 | -3.82 | -2.82 | -3.82 | -3.62 |
| 250 | 0.25 | 250.25 | 254 | 254 | 254 | 254 | 253 | -3.75 | -3.75 | -3.75 | -3.75 | -2.75 | -3.55 |

**Tabel L.1.4 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran turun sphygmomanometer 3**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 250 | 0.5 | 250.5 | 254 | 254 | 254 | 253 | 254 | -3.5 | -3.5 | -3.5 | -2.5 | -3.5 | -3.3 |
| 200 | 0.32 | 200.32 | 205 | 204 | 204 | 204 | 205 | -4.68 | -3.68 | -3.68 | -3.68 | -4.68 | -4.08 |
| 150 | 0.24 | 150.24 | 154 | 154 | 154 | 154 | 153 | -3.76 | -3.76 | -3.76 | -3.76 | -2.76 | -3.56 |
| 100 | 0.59 | 100.59 | 104 | 104 | 104 | 105 | 104 | -3.41 | -3.41 | -3.41 | -4.41 | -3.41 | -3.61 |
| 50 | 0.19 | 50.19 | 54 | 53 | 54 | 53 | 54 | -3.81 | -2.81 | -3.81 | -2.81 | -3.81 | -3.41 |
| 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | -4 | -4 | -2 | -4 | -4 | -3.6 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel L.1.5 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran naik sphygmomanometer 4**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | -4 | -2 | -2 | -4 | -4 | -3.2 |
| 50 | 0.01 | 50.01 | 52 | 54 | 54 | 54 | 54 | -1.99 | -3.99 | -3.99 | -3.99 | -3.99 | -3.59 |
| 100 | -0.05 | 99.95 | 103 | 104 | 104 | 104 | 104 | -3.05 | -4.05 | -4.05 | -4.05 | -4.05 | -3.85 |
| 150 | -0.07 | 149.93 | 153 | 154 | 154 | 154 | 154 | -3.07 | -4.07 | -4.07 | -4.07 | -4.07 | -3.87 |
| 200 | 0.18 | 200.18 | 204 | 203 | 204 | 203 | 204 | -3.82 | -2.82 | -3.82 | -2.82 | -3.82 | -3.42 |
| 250 | 0.25 | 250.25 | 253 | 254 | 254 | 254 | 254 | -2.75 | -3.75 | -3.75 | -3.75 | -3.75 | -3.55 |

**Tabel L.1.6 Data hasil perhitungan koreksi pengukuran turun sphygmomanometer 4**

| Setting | PST | pembacaan alat standart terkoreksi (mmHg) | Pembacaan alat yang diuji | | | | | | | | | | rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Terbaca | | | | | Koreksi | | | | | |
| | | | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | 1 (mmHg) | 2 (mmHg) | 3 (mmHg) | 4 (mmHg) | 5 (mmHg) | |
| 250 | 0.5 | 250.5 | 253 | 254 | 254 | 254 | 254 | -2.5 | -3.5 | -3.5 | -3.5 | -3.5 | -3.3 |
| 200 | 0.32 | 200.32 | 204 | 204 | 204 | 204 | 205 | -3.68 | -3.68 | -3.68 | -3.68 | -4.68 | -3.88 |
| 150 | 0.24 | 150.24 | 154 | 153 | 154 | 154 | 154 | -3.76 | -2.76 | -3.76 | -3.76 | -3.76 | -3.56 |
| 100 | 0.59 | 100.59 | 105 | 104 | 104 | 104 | 104 | -4.41 | -3.41 | -3.41 | -3.41 | -3.41 | -3.61 |
| 50 | 0.19 | 50.19 | 54 | 53 | 54 | 54 | 54 | -3.81 | -2.81 | -3.81 | -3.81 | -3.81 | -3.61 |
| 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 | -4 | -3 | -4 | -4 | -4 | -3.8 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 2 Data perhitungan nilai ketidakpastian kombinasi metode OIML R 16

**Tabel L.2.1 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk sphygmomanometer 2**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | | K | U=kxUc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0.8 | 0.15 | 0.33 | 0 | 0.64 | 0.0225 | 0.1089 | 0.7714 | 0.88 | 0.00 | 1.96 | 1.721455849 |
| 50 | 0.2 | 0.8 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 0.64 | 0.0225 | 0.1089 | 0.8114 | 0.9 | 1,646.03 | 4.3 | 3.873343001 |
| 100 | 0.53 | 0.8 | 0.15 | 0.33 | 0.2809 | 0.64 | 0.0225 | 0.1089 | 1.0523 | 1.03 | 56.24 | 2.01 | 2.061891663 |
| 150 | 0.2 | 0.8 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 0.64 | 0.0225 | 0.1089 | 0.8114 | 0.9 | 1,646.03 | 4.3 | 3.873343001 |
| 200 | 0.24 | 0.8 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 0.64 | 0.0225 | 0.1089 | 0.829 | 0.91 | 828.66 | 1.98 | 1.802778855 |
| 250 | 0.24 | 0.8 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 0.64 | 0.0225 | 0.1089 | 0.829 | 0.91 | 828.66 | 1.98 | 1.802778855 |

**Tabel L.2.2 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk sphygmomanometer 2**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | | K | U=kxUc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 0.2 | 3.33 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 11.09 | 0.0225 | 0.1089 | 11.26 | 3.36 | 317,016.63 | 1.98 | 6.644161356 |
| 200 | 0.4 | 3.33 | 0.15 | 0.33 | 0.16 | 11.09 | 0.0225 | 0.1089 | 11.38 | 3.37 | 20,266.87 | 2.09 | 7.050552349 |
| 150 | 0.2 | 3.33 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 11.09 | 0.0225 | 0.1089 | 11.26 | 3.36 | 317,016.63 | 1.98 | 6.644161356 |
| 100 | 0.24 | 3.33 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 11.09 | 0.0225 | 0.1089 | 11.278 | 3.36 | 153,376.41 | 1.98 | 6.649351785 |
| 50 | 0 | 3.33 | 0.15 | 0.33 | 0 | 11.09 | 0.0225 | 0.1089 | 11.22 | 3.35 | 0.00 | 1.96 | 6.565356386 |
| 0 | 0 | 3.33 | 0.15 | 0.33 | 0 | 11.09 | 0.0225 | 0.1089 | 11.22 | 3.35 | 0.00 | 1.96 | 6.565356386 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel L.2.3 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk sphygmomanometer 3**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | | K | U=kxUc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.48 | 9.2 | 0.15 | 0.33 | 0.2304 | 84.64 | 0.0225 | 0.1089 | 85.002 | 9.22 | 546,232.56 | 1.98 | 18.25489131 |
| 50 | 0.2 | 9.2 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 84.64 | 0.0225 | 0.1089 | 84.811 | 9.21 | 17,984,224.91 | 2.1 | 19.33955206 |
| 100 | 0.2 | 9.2 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 84.64 | 0.0225 | 0.1089 | 84.811 | 9.21 | 17,984,224.91 | 2.1 | 19.33955206 |
| 150 | 0.2 | 9.2 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 84.64 | 0.0225 | 0.1089 | 84.811 | 9.21 | 17,984,224.91 | 2.1 | 19.33955206 |
| 200 | 0.2 | 9.2 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 84.64 | 0.0225 | 0.1089 | 84.811 | 9.21 | 17,984,224.91 | 2.1 | 19.33955206 |
| 250 | 0.36 | 9.2 | 0.15 | 0.33 | 0.1296 | 84.64 | 0.0225 | 0.1089 | 84.901 | 9.21 | 1,718,416.64 | 4.3 | 39.62094762 |

**Tabel L.2.4 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk sphygmomanometer 3**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | | K | U=kxUc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 0.2 | 9.75 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 95.06 | 0.0225 | 0.1089 | 95.234 | 9.76 | 22,675,998.49 | 2.09 | 20.39586229 |
| 200 | 0.24 | 9.75 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 95.06 | 0.0225 | 0.1089 | 95.252 | 9.76 | 10,940,781.90 | 2.2 | 21.47131249 |
| 150 | 0.2 | 9.75 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 95.06 | 0.0225 | 0.1089 | 95.234 | 9.76 | 22,675,998.49 | 2.09 | 20.39586229 |
| 100 | 0.2 | 9.75 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 95.06 | 0.0225 | 0.1089 | 95.234 | 9.76 | 22,675,998.49 | 2.09 | 20.39586229 |
| 50 | 0.46 | 9.75 | 0.15 | 0.33 | 0.2116 | 95.06 | 0.0225 | 0.1089 | 95.406 | 9.77 | 815,418.25 | 1.98 | 19.33979633 |
| 0 | 0.4 | 9.75 | 0.15 | 0.33 | 0.16 | 95.06 | 0.0225 | 0.1089 | 95.354 | 9.76 | 1,422,941.45 | 4.3 | 41.98920827 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel L.2.5 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk sphygmomanometer 4**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | | K | U=kxUc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0.48 | 9.08 | 0.15 | 0.33 | 0.2304 | 82.45 | 0.0225 | 0.1089 | 82.808 | 9.1 | 518,403.24 | 1.98 | 18.01780417 |
| 50 | 0.4 | 9.08 | 0.15 | 0.33 | 0.16 | 82.45 | 0.0225 | 0.1089 | 82.738 | 9.1 | 1,071,315.53 | 4.3 | 39.11293804 |
| 100 | 0.2 | 9.08 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 82.45 | 0.0225 | 0.1089 | 82.618 | 9.09 | 17,065,951.54 | 2.11 | 19.17870453 |
| 150 | 0.2 | 9.08 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 82.45 | 0.0225 | 0.1089 | 82.618 | 9.09 | 17,065,951.54 | 2.11 | 19.17870453 |
| 200 | 0.24 | 9.08 | 0.15 | 0.33 | 0.0576 | 82.45 | 0.0225 | 0.1089 | 82.635 | 9.09 | 8,234,494.17 | 2.31 | 20.99882754 |
| 250 | 0.2 | 9.08 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 82.45 | 0.0225 | 0.1089 | 82.618 | 9.09 | 17,065,951.54 | 2.11 | 19.17870453 |

**Tabel L.2.6 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk sphygmomanometer 4**

| Setting alat standart (mmHg) | $U_{A1}$ | $U_{A2}$ | $U_{B1}$ | $U_{B2}$ | $U_{A1}$^2 | $U_{A2}$^2 | $U_{B1}$^2 | $U_{B2}$^2 | Jumlah | Uc | | K | U=kxUc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 250 | 0.2 | 9.85 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 97.02 | 0.0225 | 0.1089 | 97.194 | 9.86 | 23,618,988.83 | 2.09 | 20.60467604 |
| 200 | 0.2 | 9.85 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 97.02 | 0.0225 | 0.1089 | 97.194 | 9.86 | 23,618,988.83 | 2.09 | 20.60467604 |
| 150 | 0.2 | 9.85 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 97.02 | 0.0225 | 0.1089 | 97.194 | 9.86 | 23,618,988.83 | 2.09 | 20.60467604 |
| 100 | 0.2 | 9.85 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 97.02 | 0.0225 | 0.1089 | 97.194 | 9.86 | 23,618,988.83 | 2.09 | 20.60467604 |
| 50 | 0.2 | 9.85 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 97.02 | 0.0225 | 0.1089 | 97.194 | 9.86 | 23,618,988.83 | 2.09 | 20.60467604 |
| 0 | 0.2 | 9.85 | 0.15 | 0.33 | 0.04 | 97.02 | 0.0225 | 0.1089 | 97.194 | 9.86 | 23,618,988.83 | 2.09 | 20.60467604 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 3 Data perhitungan nilai ketidakpastian metode OIML R 16

**Tabel L.3.1 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk sphygmomanometer 2**

| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 0 | 1.96 | 0.88 | 1.7248 |
| 50 | 4.3 | 0.9 | 3.87 |
| 100 | 2.01 | 1.03 | 2.0703 |
| 150 | 4.3 | 0.9 | 3.87 |
| 200 | 1.98 | 0.91 | 1.8018 |
| 250 | 1.98 | 0.91 | 1.8018 |
| | | rata-rata | 2.523116667 |

**Tabel L.3.2 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk sphygmomanometer 2**

| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 250 | 1.98 | 3.36 | 6.6528 |
| 200 | 2.09 | 3.37 | 7.0433 |
| 150 | 1.98 | 3.36 | 6.6528 |
| 100 | 1.98 | 3.36 | 6.6528 |
| 50 | 1.98 | 3.36 | 6.6528 |
| 0 | 1.98 | 3.36 | 6.6528 |
| | | rata-rata | 6.717883333 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel L.3.3 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk sphygmomanometer 3**

| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 0 | 1.98 | 9.22 | 18.2556 |
| 50 | 2.1 | 9.21 | 19.341 |
| 100 | 2.1 | 9.21 | 19.341 |
| 150 | 2.1 | 9.21 | 19.341 |
| 200 | 2.1 | 9.21 | 19.341 |
| 250 | 4.3 | 9.21 | 39.603 |
| | | rata-rata | 22.5371 |

**Tabel L.3.4 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk sphygmomanometer 3**

| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 250 | 2.09 | 9.76 | 20.3984 |
| 200 | 2.2 | 9.76 | 21.472 |
| 150 | 2.09 | 9.76 | 20.3984 |
| 100 | 2.09 | 9.76 | 20.3984 |
| 50 | 1.98 | 9.77 | 19.3446 |
| 0 | 4.3 | 9.76 | 41.968 |
| | | rata-rata | 23.99663333 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel L.3.5 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran naik untuk sphygmomanometer 4**

| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 0 | 1.98 | 9.1 | 18.018 |
| 50 | 4.3 | 9.1 | 39.13 |
| 100 | 2.11 | 9.09 | 19.1799 |
| 150 | 2.11 | 9.09 | 19.1799 |
| 200 | 2.31 | 9.09 | 20.9979 |
| 250 | 2.11 | 9.09 | 19.1799 |
| | | rata-rata | 22.61426667 |

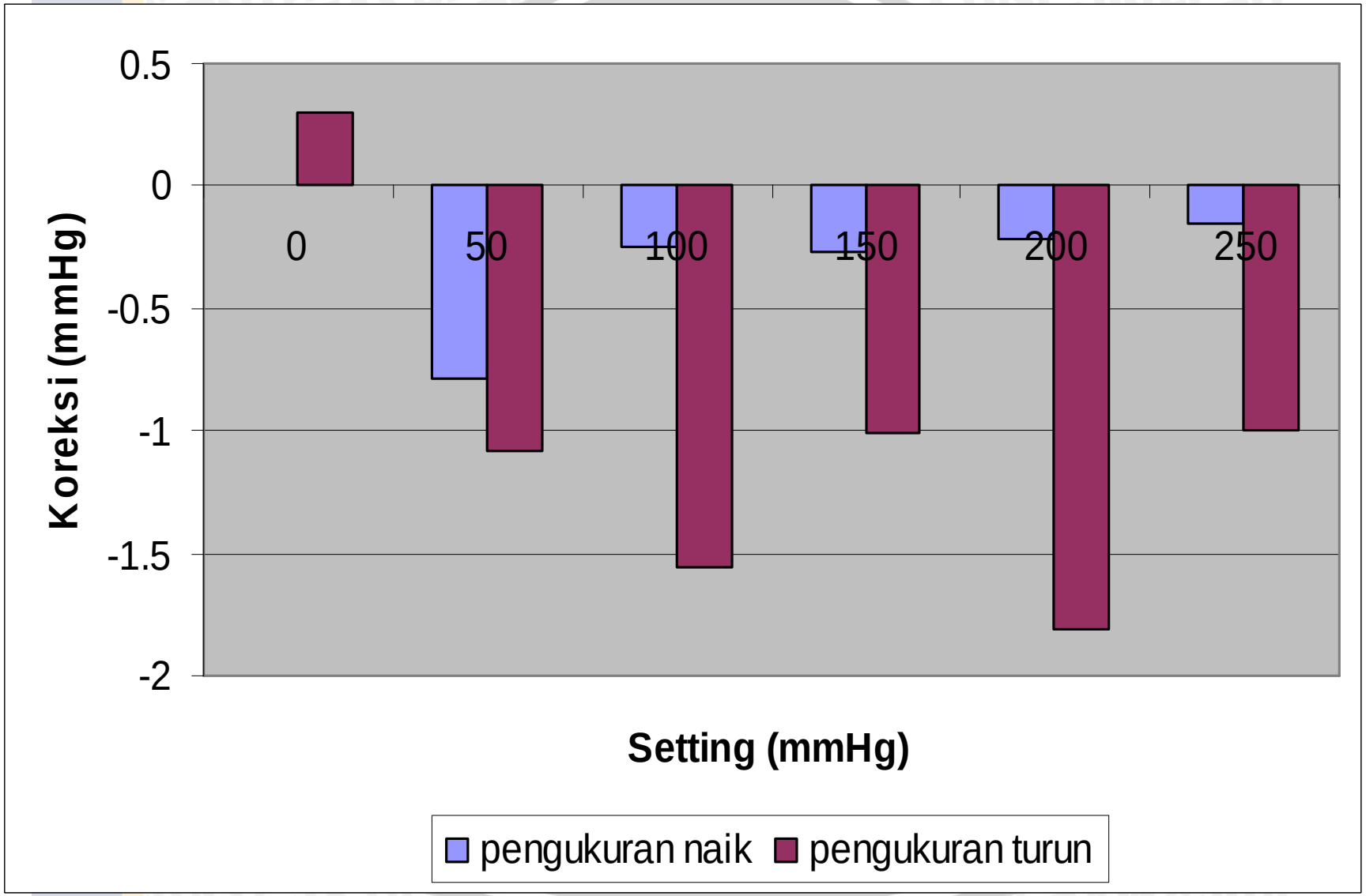
**Tabel L.3.6 Nilai ketidakpastian kombinasi pengukuran turun untuk sphygmomanometer 4**

| setting alat standart mmHg | k | Uc mmHg | Uexp mmHg |
|---|---|---|---|
| 250 | 2.09 | 9.86 | 20.6074 |
| 200 | 2.09 | 9.86 | 20.6074 |
| 150 | 2.09 | 9.86 | 20.6074 |
| 100 | 2.09 | 9.86 | 20.6074 |
| 50 | 2.09 | 9.86 | 20.6074 |
| 0 | 2.09 | 9.86 | 20.6074 |
| | | rata-rata | 20.6074 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

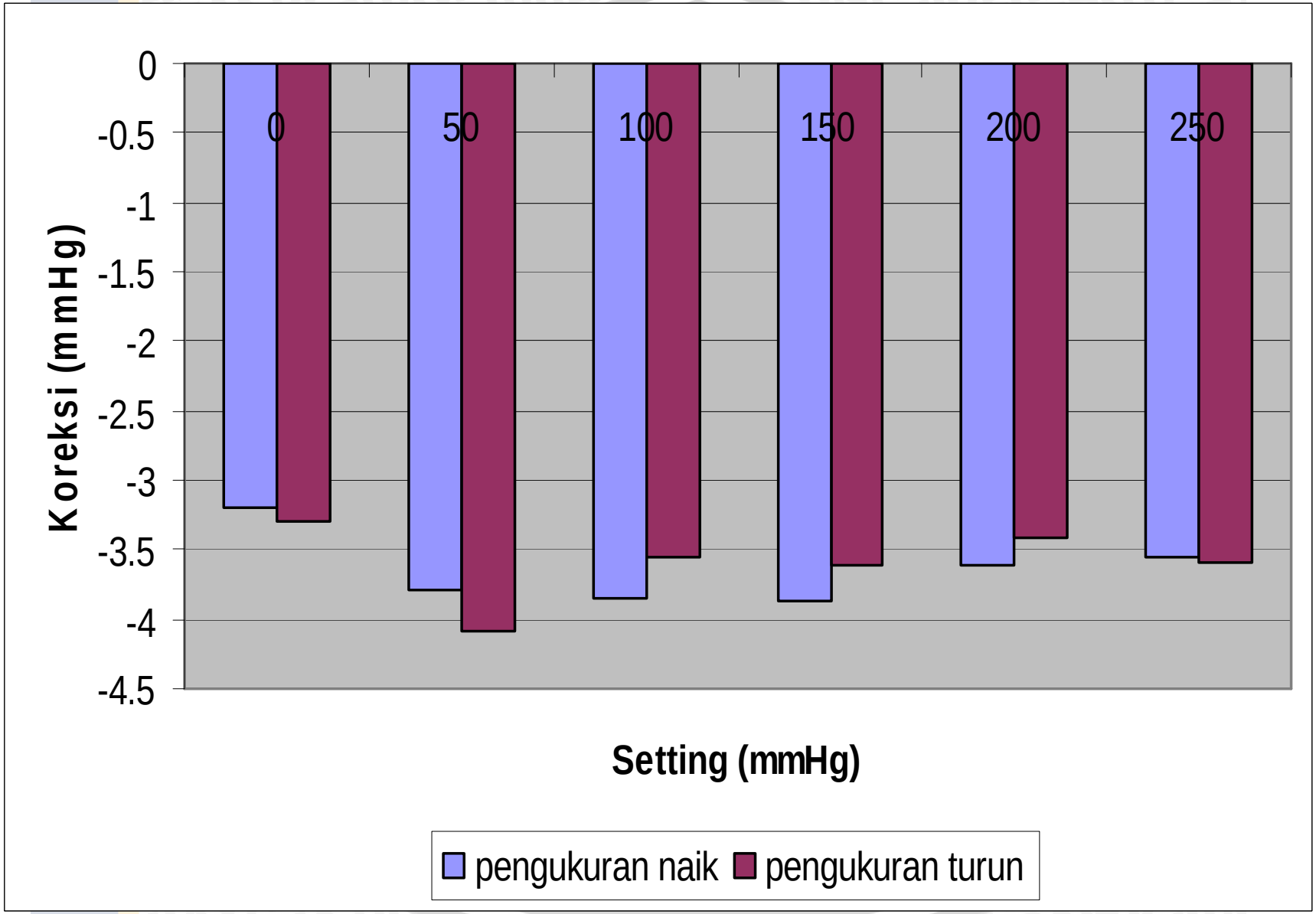
Lampiran 4 Grafik hubungan koreksi dengan setting metode OIML R16

**Grafik L.4.1 Hubungan koreksi dengan setting pada sphygmomanometer 2**



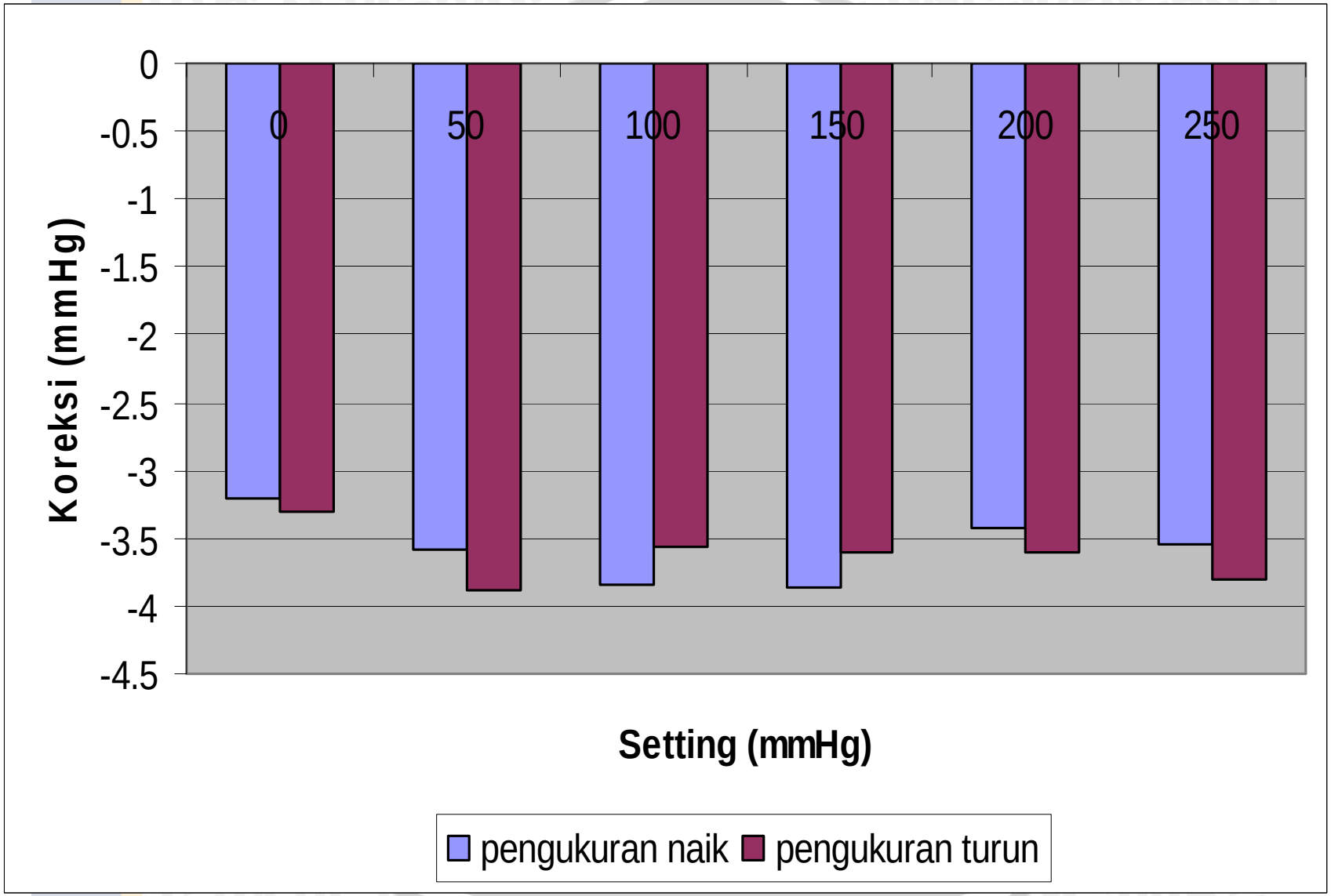
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Grafik L.4.2 Hubungan koreksi dengan setting pada sphygmomanometer 3**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

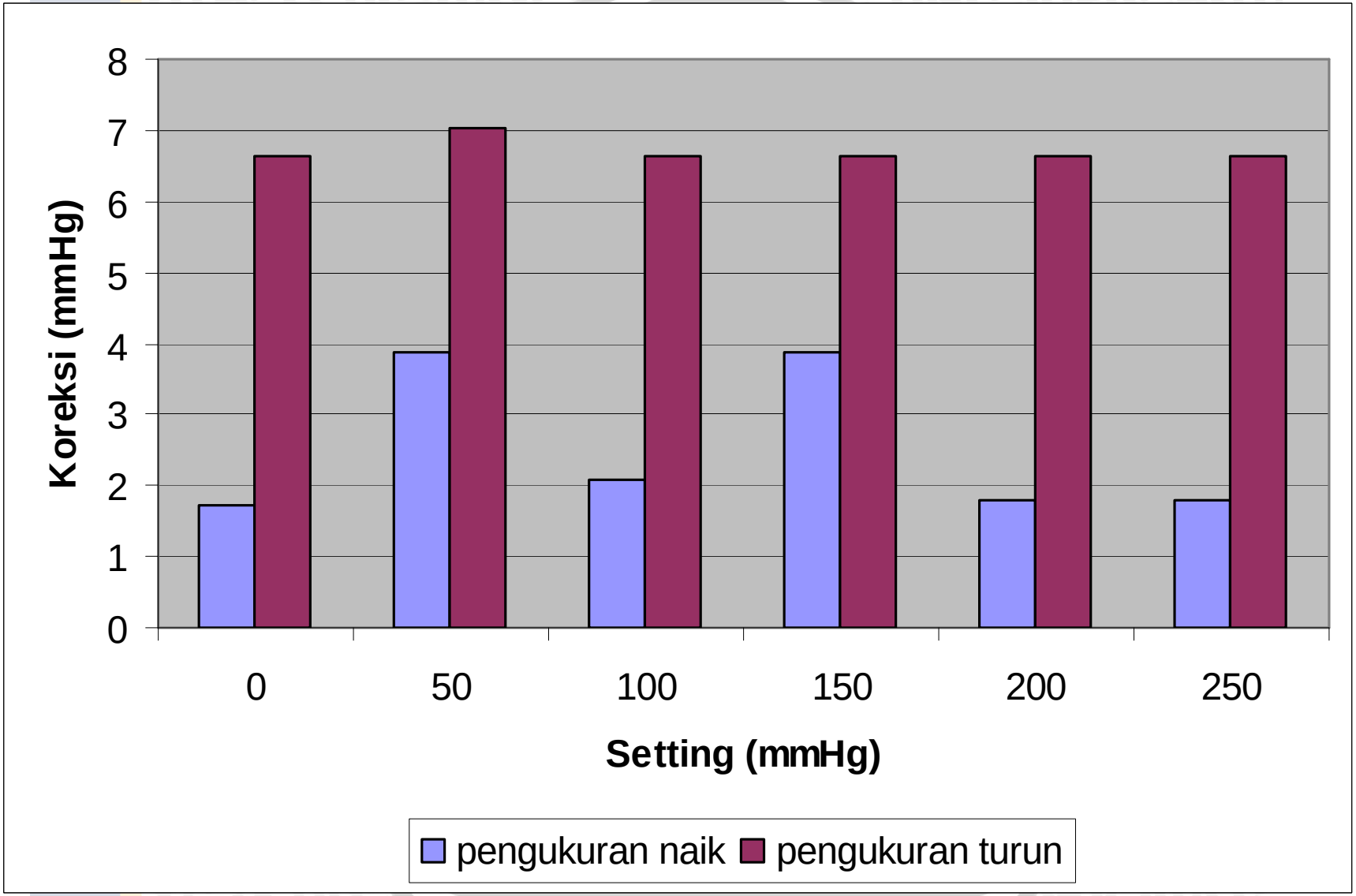
**Grafik L.4.3 Hubungan koreksi dengan setting pada sphygmomanometer 4**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

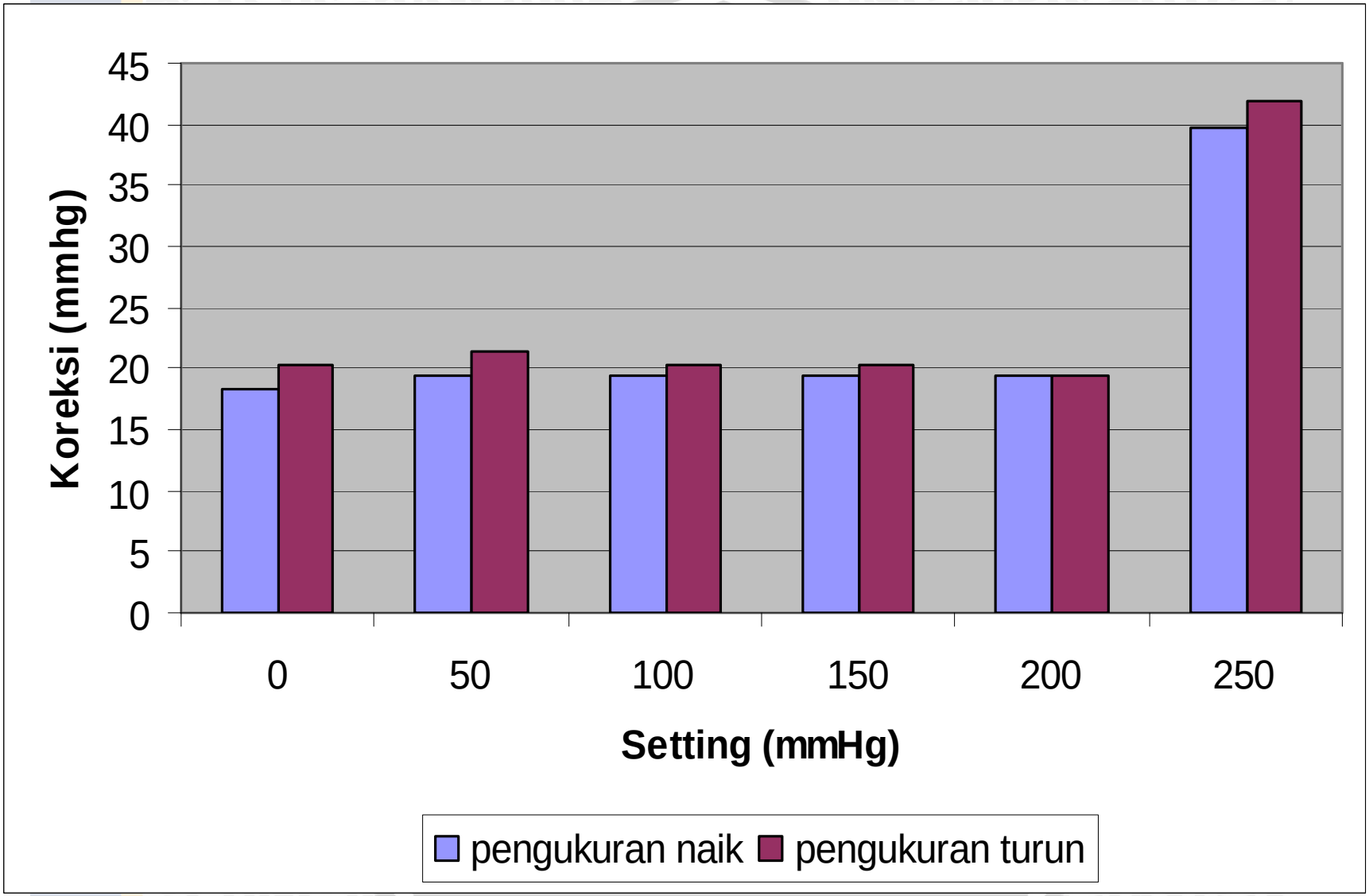
Lampiran 5 Grafik hubungan $U_{exp}$ dengan setting metode OIML R16

**Grafik L.5.1 Hubungan Uexp dengan setting pada sphygmomanometer 2**



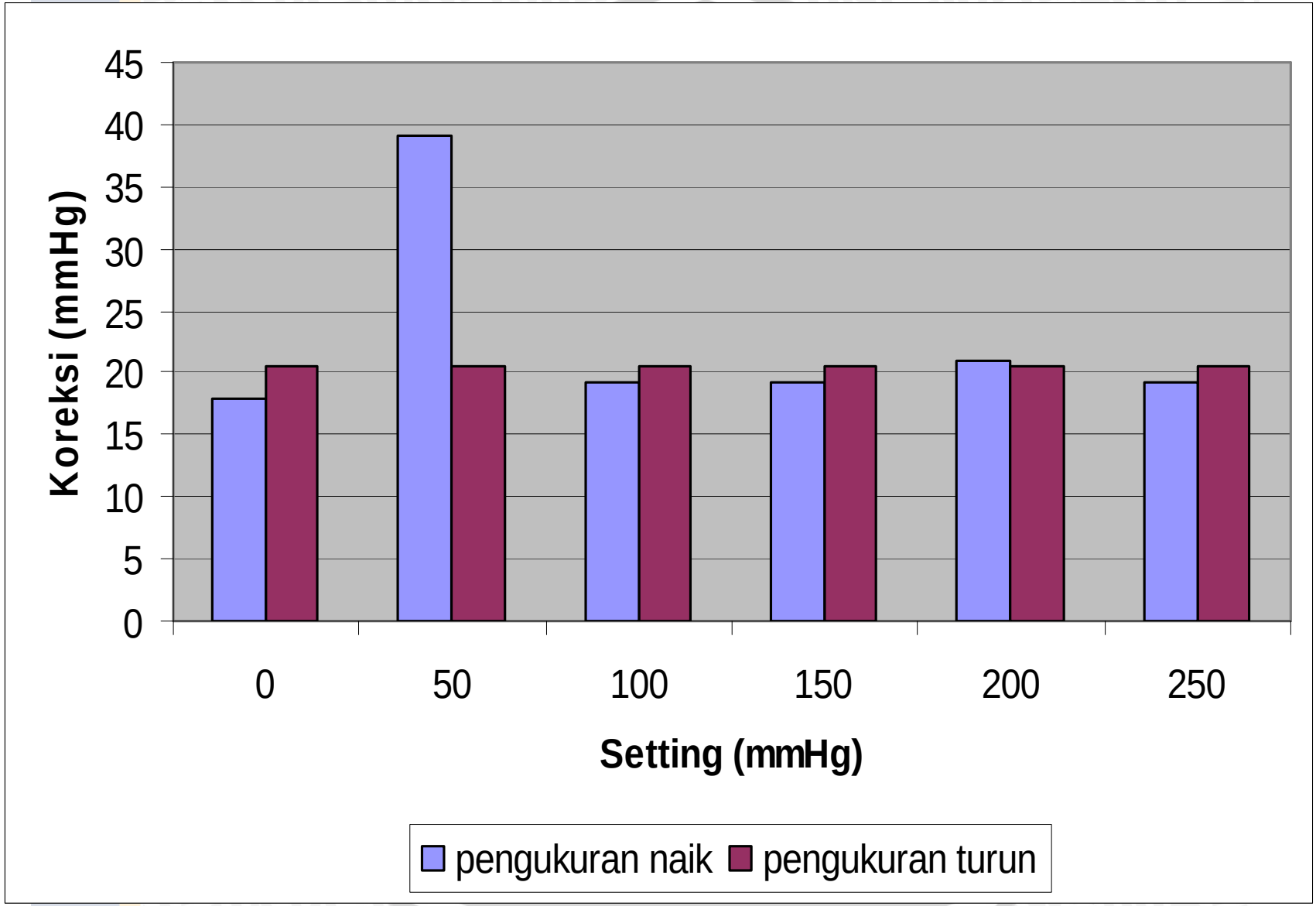
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Grafik L.5.2 Hubungan Uexp dengan setting pada sphygmomanometer 3**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Grafik L.5.3 Hubungan Uexp dengan setting pada sphygmomanometer 4**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Lampiran 6 Gambar penulis melakukan kalibrasi Sphygmomanometer mercury dan gambar DPM4-1G

(halaman ini sengaja dikosongkan)

FLUKE
DPM4 PARAMETER TESTER
0.0 mmHg N.A.℃
F1
F2
F3
F4
MENU SCROLL
PRESS/TEMP
FLOW/TEMP
ENVIRONMENT

(halaman ini sengaja dikosongkan)

MEDICAL TOOLS DIVISION
Urusan Peralatan Medik
WELDING
WORKSHOP
Bengkel Las

FLUKE