



## DAFTAR ISI

	halaman
Halaman Judul . . . . .	i
Halaman Pengesahan . . . . .	ii
Halaman Pernyataan . . . . .	iii
Halaman Moto dan Persembahan . . . . .	iv
PRAKATA . . . . .	vi
DAFTAR ISI . . . . .	viii
DAFTAR GAMBAR . . . . .	x
DAFTAR TABEL . . . . .	xii
DAFTAR LAMPIRAN . . . . .	xiii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN . . . . .	xiv
INTISARI . . . . .	xv
ABSTRACT . . . . .	xvi
Bab I PENDAHULUAN . . . . .	1
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Permasalahan . . . . .	3
1.3 Tujuan Penelitian . . . . .	4
1.4 Batasan Masalah . . . . .	4
1.5 Manfaat Penelitian . . . . .	5
Bab II TINJAUAN PUSTAKA . . . . .	7
2.1 APTD . . . . .	7
2.2 Pemakaian APTD . . . . .	12
2.3 Hemoglobin di dalam darah . . . . .	14
2.4 Deeksitasi MDMSPA . . . . .	15
Bab III LANDASAN TEORI . . . . .	19
3.1 Teori . . . . .	19
3.2 Hipotesa Penelitian . . . . .	46
3.3 Rancangan Penelitian . . . . .	46
Bab IV METODE PENELITIAN . . . . .	49
4.1 Bahan . . . . .	49
4.2 Peralatan . . . . .	49
4.3 Prosedur dan Pengumpulan Data . . . . .	52
4.4 Analisis dan Rancangan Sistem . . . . .	55
4.5 Implementasi . . . . .	58
4.6 Pengolahan Data . . . . .	58
4.7 Analisis Hasil . . . . .	59
Bab V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN . . . . .	60
5.1 Kesetaraan Pembacaan Tekanan Darah Sampel oleh APTD terhadap SPY . . . . .	61
5.2 Reprodusibilitas dari APTD-2 . . . . .	65
5.3 Dinamika dan Pola Sinyal GGL induksi . . . . .	66



Bab VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	73
6.1 Kesimpulan .....	73
6.2 Saran .....	73
DAFTAR PUSTAKA .....	75
LAMPIRAN .....	78



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gabungan EKG dengan PPG dan APTD: (a) SPY (belum terintegrasi), (b) PTT (sudah terintegrasi) . . . . .	8
Gambar 2.2 Validasi IBP yang berprinsip PPG oleh variasi BPM: (a) hubungan linier, (b) bernilai cenderung tetap . . . . .	10
Gambar 2.3 Prinsip kerja APTD yang melibatkan piezoelektrik: (a) bagan kerja, (b) penggunaannya . . . . .	11
Gambar 2.4 Pola sinyal oleh APTD non-invasif kontinyu dan memanfaatkan Piezoelektrik . . . . .	11
Gambar 2.5 Bagan cara kerja GMR yang berlandaskan hukum Faraday . . . . .	15
Gambar 3.1 (a) Sampel darah manusia, (b) komposisi darah manusia terdiri a: eritrosit, b: neutrofil, c: eosinofil, dan d: limfosit . . . . .	20
Gambar 3.2 Bagan: (a) sirkulasi darah sistemik dan pulmonari, (b) sirkulasi darah di dalam jantung . . . . .	23
Gambar 3.3 (a) Nilai tekanan darah sistol terkait ketinggian organ, dan (b) tekanan darah pada sejumlah posisi dan jenis organ . . . . .	24
Gambar 3.4 Pengaruh hukum Bernoulli menyebabkan nilai tekanan bergantung ketinggian relatif terhadap jantung . . . . .	25
Gambar 3.5 SPY sebagai alat pantau tekanan darah dengan manset di lengan ketika: (a) lengan datar, (b) lengan miring, dan (c) lengan vertikal . . . . .	25
Gambar 3.6 Debit aliran darah fungsi waktu (atas), tekanan darah pada arteri aorta (tengah), dan tekanan darah di arteri pulmonari (bawah) . . . . .	27
Gambar 3.7 Perbandingan hasil hitung numerik dengan eksperimen pada debit (kiri) dan tekanan (kanan) pada aliaran air di dalam pipa . . . . .	27
Gambar 3.8 Tekanan darah: (a) loop sistemik, dan (b) loop pulmonari . . . . .	28
Gambar 3.9 Teknik menghitung nilai tekanan darah rerata . . . . .	29
Gambar 3.10 (a) Proses relaksasi MDMSPAHE sehingga dapat diperoleh GGL Induksi, (b) energi MDMSPAHE di dalam medan magnet, (c) sebaran populasinya yang mengikuti distribusi Boltzman. . . . .	32
Gambar 3.11 Variasi diameter arteri branchyialis ketika: (a) jantung berkontraksi, (b) jantung berelaksasi, (c) disusul oleh denyut jantung (kontraksi – relaksasi) yang ke dua . . . . .	37
Gambar 3.12 Laju perubahan populasi saat sistol ataupun diastol berupa sebaran Gauss . . . . .	37
Gambar 3.13 (a) Proses dihasilkannya GGL induksi oleh perubahan populasi mendadak dan relaksasi MDM di dalam darah disebabkan oleh medan magnet yang dihasilkan merupakan fungsi posisi dan waktu. Sejumlah sinyal oleh asumsi darah mengalir: (b) tunak dan laminar, tidak tunak dan non-laminar oleh faktor: (c) relaksasi MDM, (d) perubahan populasi mendadak dan relaksasi, (e) perubahan populasi mendadak MDM yang dominan . . . . .	38
Gambar 3.14 Bagan keberadaan atom Fe di dalam Hb . . . . .	39
Gambar 3.15 Hubungan antara tekanan darah (SBP dan DBP) terhadap level Hb (mmol/liter) . . . . .	39
Gambar 3.16 Kekhususan riset ini tentang keberadaan alat pantau tekanan darah yang melibatkan SMK sebagai model APTD pada semesta pembicaraan APTD yang populer (SPY), gold standard (kateter), dan terkini (bersensor piezoelectrik) . . . . .	42



Gambar 3.17 Bagan: (a) repeatabilitas oleh seorang pengukur, dan (b) reproduibilitas oleh tiga orang pengukur . . . . .	44
Gambar 3.18 Roadmap riset disertasi S-3 oleh penulis . . . . .	47
Gambar 4.1 Potret: (a) filter-amplifier, dan (b) RC sebagai SMK . . . . .	50
Gambar 4.2 Potret magnet permanen: (a) magnet-1, dan (b) magnet-2 . . . . .	51
Gambar 4.3 Peralatan non-buatan sendiri yang digunakan pada riset ini: (a) osiloskop digital storage, (b) multimeter analog, dan (c) <i>flashdisc</i> . . . . .	51
Gambar 4.4 (a) Potret SPY: (a) digital, (b) aneroid . . . . .	52
Gambar 4.5 Potret sinyal GGL induksi secara kualitatif (a), secara kuantitatif (b), dan (c) pengukuran tekanan darah dengan SPY digital . . . . .	53
Gambar 4.6 (a) Bagan set-up magnet-2 yang dibuat, (b) kekuatan magnet-2 saat itu, ketika jarak antarkutubnya 3 cm . . . . .	53
Gambar 4.7 Potret set-up magnet-2 yang telah berhasil dibuat: (a) dari atas, (b) dari samping, dan (c) dari depan . . . . .	54
Gambar 4.8 Potret: (a) pengambilan data sampel, (b) sinyal GGL induksi yang diperoleh . . . . .	54
Gambar 5.1 Bagan set-up SMK . . . . .	60
Gambar 5.2 Bagan sebaran kuat medan magnet pada magnet-1 . . . . .	62
Gambar 5.3 Uji coba koneksi seri antara kedua koil penyusun SMK . . . . .	62
Gambar 5.4 Grafik kesetaraan nilai log dari tekanan darah (oleh SPY) versus GGL induksi (dalam volt oleh hasil penguatan 500 kali) ketika digunakan magnet-1 . . . . .	63
Gambar 5.5 Grafik kesetaraan nilai log dari tekanan darah (oleh SPY) versus GGL induksi (dalam volt oleh hasil penguatan 500 kali) ketika digunakan magnet-2 . . . . .	64
Gambar 5.6 Dinamika tekanan darah oleh aktivitas fisik (joging di tempat) sampel baik dengan alat pantau APTD-2 maupun SPY, sampel dalam kondisi santai (kiri) dan setelah beraktivitas fisik (kanan) . . . . .	67
Gambar 5.7 Pola sinyal GGL induksi pada hasil pantauan tekanan darah dengan APTD-2 secara kontinyu dari kiri ke kanan ketika kondisi sampel: (a) santai, (b) sesaat setelah sampel melakukan aktivitas fisik, dan (c) 5 menit setelah melakukan aktivitas fisik . . . . .	68
Gambar 5.8 Pola lebar sinyal pada kondisi sampel: (a) santai, (b) sesaat setelah beraktivitas fisik, (c) beberapa saat dari kondisi (b) . . . . .	69
Gambar 5.9 (a) Bagan alihragam antara sinyal GGL induksi oleh APTD-2 (atas) terhadap pola tekanan darah fungsi waktu (tengah dan bawah), (b) pola GGL induksi nyata (atas), pola tekanan darah di aorta (tengah) dan pola debit darah dari jantung (bawah) . . . . .	70
Gambar 5.10 (a) Penampilan ilustrasi pola GGL induksi oleh APTD-2, (b) penampilan ilustrasi pola tegangan listrik oleh EKG . . . . .	71



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Variasi ukuran <i>cuff</i> pada SPY yang diperlukan . . . . .	12
Tabel 2.2 Pemeringkatan tingkat hipertensi berdasar nilai tekanan darahnya . . . . .	13
Tabel 2.3 Riset tentang pemanfaatan relaksasi MDMSPAHA untuk teknologi . . . . .	16
Tabel 3.1 Contoh komponen penyusun darah pada seorang pasien . . . . .	21
Tabel 3.2 Nilai parameter statistik pada beragam jumlah pemantauan dan pengukuran . . . . .	45
Tabel 5.1 Kalibrasi SPY digital terhadap SPY aneroid . . . . .	62
Tabel 5.2 Data tekanan darah pada uji reproduibilitas total APTD-2 . . . . .	65



## DAFTAR LAMPIRAN

1. Seminar Nasional (7 <sup>th</sup> <i>Basic Science National Seminar</i> ), FMIPA, Unibraw, Malang, 2010 . . . . .	78
2. Seminar Internasional (5 <sup>th</sup> <i>Kentingan Physics Forum: International Conference on Physics and Its Application</i> ), Physics Department, UNS, Surakarta, 2010 . . . . .	85
3. Seminar Internasional (The 12 <sup>th</sup> , <i>Internasional Conference on QiR (Quality in Research)</i> , FT UI, Sanur – Bali, 2011 . . . . .	92
4. Dipublikasikan di Journal of the Medical Sciences, Vol.47, Number 1, p.12 – 19, 2015, Published by Faculty of Medicine UGM Yogyakarta . . . . .	98
5. Publikasi di EPH – International Journal of Applied Science, Vol. 2, Okt. 2016, ISSN: 2208-2182 (Q4) . . . . .	106
6. Kalibrasi sphygmomanometer aneroid oleh LPPT UGM . . . . .	113
7. Publikasi di ICST UGM; 07 Agustus 2018 . . . . .	114
8. Data konversi GGL induksi ke tekanan darah . . . . .	118
9. Hitung reproduibilitas total . . . . .	120
10. Data pengaruh GGL induksi oleh aktivitas fisik . . . . .	122
11. Potret hasil uji sumber sinyal . . . . .	122
12. Publikasi ke-JMRHS, kualifikasi Q4 . . . . .	126
13. Publikasi ke Iconcern-2019, status accepted, Q3 Scopus . . . . .	132
14. Kesetaraan APTD-2 dengan SPY Fit Eksponensial . . . . .	143
15. Kesetaraan APTD-2 dengan SPY Fit Linier . . . . .	144
16. Fit linier pada kawasan tekanan darah 130 mmHg ke bawah . . . . .	145



## DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

ANOVA	: <i>Analysis of Variance</i>
AUTD	: alat ukur tekanan darah
APTD	: alat pantau tekanan darah
APTD-1	: APTD menggunakan magnet permanen 1.500 gauss
APTD-2	: APTD menggunakan magnet permanen 7.300 gauss
BKD	: batas kesalahan diperkenankan
BPM	: <i>beat per minute</i>
BPW	: <i>blood pressure wave</i>
COT	: <i>conventional oscillometric technique</i>
CRO	: <i>Cathoda Ray Oscilloscope</i>
CVD	: <i>cardiovascular disease</i>
CW	: <i>continous wave</i>
DC	: <i>direct current</i>
DBP	: <i>diastole blood pressure</i>
<i>emf</i>	: <i>electromotive force</i>
EKG	: elektrokardiogram
FG	: <i>function generator</i>
GEM	: gelombang elektromagnetik
GGL	: gaya gerak listrik
GMR	: <i>ginat magnetoresistance</i>
HKI	: hak kekayaan intelektual
IBP	: <i>instant blood pressure</i>
MBP	: <i>mean blood pressure</i>
MDM	: momen dipol magnet
MDMSPAHA	: momen dipol magnet spin proton atom hidrogen
MK	: magnet koil
MRI	: <i>Magnetic Resonance Imaging</i>
NMR	: <i>Nuclear Magnetic Resonance</i>
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
$\bar{P}$	: tekanan darah rerata
$P_l$	: tekanan darah pulsa
PPG	: <i>pulse photo-plenthysmogram; photoplenthys miography</i>
PWV	: <i>pulse wave velocity</i>
PWP	: <i>pulse wave pressure</i>
PTT	: <i>pulse transit time</i>
RC	: <i>receiver coil</i>
ROT	: <i>rapid oscillometric technique</i>
RF	: <i>radio frequency</i>
S	: selatan
SAW	: <i>surface acoustic wave</i>
SBP	: <i>sistole blood pressure</i>
SOP	: <i>standard operational procedure</i>
<i>s/d</i>	: sistol/diastol
SMK	: sistem magnet koil (koil RC tersusun seri)
SPY	: <i>sphygmomanometer</i>
U	: utara