Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar
Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ii

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

HALAMAN PENGESAHAN iv

HALAMAN TUGAS v

HALAMAN PERSEMBAHAN v

HALAMAN MOTTO vi

KATA PENGANTAR vii

DAFTAR ISI ix

DAFTAR TABEL xiv

DAFTAR GAMBAR xviii

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN xxiv

INTISARI xxvii

ABSTRACT xxviii

I. PENDAHULUAN 1

I.1. Latar Belakang 1

I.2. Perumusan Masalah 4

I.3. Batasan Masalah 5

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.4. Tujuan Penelitian 5
I.5. Manfaat Penelitian 5

II. TINJAUAN PUSTAKA 6
II.1. Bunyi dari Bundengan 6
II.1.1. Bunyi yang Menyerupai *Gong* 6
II.1.2. Persepsi Nada 7
II.2. Simulator Bundengan 8
II.2.1. Simulator Senar 8
II.2.2. Simulator Kowangan 9
II.2.3. Simulator Pelat Bambu (*Kendangan*) 10
II.3. Pemodelan Numerik pada Alat Musik Lain 11
II.4. Kontribusi Penelitian Penulis terhadap Proses Konservasi Bundengan 12

III. DASAR TEORI 13
III.1. Gerakan Harmonik Sederhana 13
III.2. Persamaan Gelombang 1 Dimensi 15
III.2.1. Senar Tanpa Beban Titik Massa 15
III.2.2. Senar Dengan Beban Titik Massa 17
III.3. Osilasi Paksa 17
III.4. Efek Kondisi Batas dengan Impedansi Mekanik Tertentu 19
III.4.1. Senar dengan Massa pada Ujungnya 20
III.4.2. Senar dengan Resistansi pada Ujungnya 21
III.5. Metode Numerik 24
III.5.1. Metode Euler 24
III.5.2. Tabel Butcher 25
III.5.3. Interpolasi 28

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

IV. PELAKSANAAN PENELITIAN **30**

IV.1. Alat dan Bahan Penelitian 30

IV.2. Tata Laksana Penelitian 30

IV.2.1. Studi Literatur 31

IV.2.2. Pembuatan Simulator 31

IV.2.3. Melakukan Simulasi dengan Variasi Nilai Impedansi Mekanik pada Kondisi Batas 41

IV.3. Rencana Analisis Hasil 42

V. HASIL DAN PEMBAHASAN **44**

V.1. Pembandingan dan Pemilihan Bahasa Pemrograman dengan Durasi Eksekusi Paling Singkat 44

V.1.1. Pengaturan Simulator Bahasa Pemrograman 44

V.1.2. Proses Optimasi Bahasa Pemrograman 46

V.1.3. Hasil Simulasi dan Pembahasan Pemilihan Bahasa Pemrograman 49

V.2. Pembandingan dan Pemilihan Metode Numerik dengan Akurasi Terbaik 51

V.2.1. Metode Numerik 51

V.2.2. Penyusunan Kode Simulator Metode Runge–Kutta 53

V.2.3. Hasil Simulasi dan Pembahasan Metode Numerik Runge–Kutta 56

V.2.4. Pembahasan untuk Penyebab Perbedaan Frekuensi Dasar . . . 60

V.2.5. Pembahasan untuk Uji Diskritisasi 62

V.3. Pembandingan dan Pemilihan Metode Simulasi dengan Durasi Eksekusi Paling Singkat 64

V.3.1. Pengaturan Metode Simulasi 64

V.3.2. Hasil Simulasi dan Pembahasan Metode Simulasi 66

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.4. Validasi Simulator terhadap Hasil Analitik Kondisi Batas Impedansi Mekanik 68
V.4.1. Pengaturan Simulator untuk Validasi Kondisi Batas Impedansi Mekanik 68
V.4.2. Hasil Validasi dan Pembahasan untuk Kondisi Batas Massa . . 70
V.4.3. Hasil Validasi dan Pembahasan untuk Kondisi Batas Resistansi 71
V.5. Validasi Simulator terhadap Simulator Sebelumnya 73
V.5.1. Pengaturan untuk Validasi terhadap Simulator Sebelumnya . . 74
V.5.2. Hasil Validasi dan Pembahasan untuk Validasi terhadap Simulator Sebelumnya 76
V.6. Variasi Nilai Impedansi Mekanik pada Kondisi Batas 80
V.6.1. Pengaturan Simulasi Variasi Nilai Impedansi Mekanik 81
V.6.2. Hasil Simulasi dan Pembahasan untuk Variasi Nilai Impedansi Mekanik 83

VI. KESIMPULAN DAN SARAN **92**
VI.1. Kesimpulan 92
VI.2. Temuan Tambahan 93
VI.3. Saran 93

DAFTAR PUSTAKA **95**

LAMPIRAN

A. Tautan **99**
A.1. Kode Sumber 99
A.2. Animasi Simulasi 99

B. Penurunan dan Penjelasan Persamaan **100**

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

B.1. Kondisi Batas Senar dengan Massa pada Ujungnya 100
B.2. Kondisi Batas Senar dengan Resistansi pada Ujungnya 102
B.3. Penjelasan Metode DP5(4) dengan Ukuran Langkah Waktu Adaptif 106
B.3.1. Inisiasi Awal 106
B.3.2. Penghitungan Nilai y_{i+1} dan e_{est} 108
B.3.3. Penghitungan Nilai Δt_{i+1} 108
B.3.4. Penjelasan Interpolasi Berdasarkan *Dense Output* 110
B.3.5. Penjelasan Algoritma Penyimpanan Solusi Hasil Interpolasi . 111

C. Data Hasil Simulasi 113

C.1. Data Durasi Eksekusi pada Pembandingan dan Pemilihan Bahasa Pemrograman dengan Durasi Eksekusi Paling Singkat 113
C.2. Data Hasil Simulasi Pembandingan Metode Integrasi Numerik . . . 117
C.3. Grafik Amplitudo Getaran Senar untuk Validasi terhadap Kondisi Batas Resistansi 127
C.4. Grafik Tambahan untuk Variasi Impedansi Mekanik 129

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Hasil pengukuran sinyal akustik pada *bundengan* [1, 10]. 8

Tabel 3.1. Tabel Butcher secara umum [17]. 26
Tabel 3.2. Ekspansi dari tabel Butcher umum. 26
Tabel 3.3. Tabel Butcher untuk metode Euler [17]. 27
Tabel 3.4. Tabel Butcher untuk metode Runge-Kutta orde 4 [17]. 27

Tabel 4.1. Daftar alat dan bahan penelitian. 30
Tabel 4.2. Tabel Butcher untuk metode RK21 [17]. 35
Tabel 4.3. Tabel Butcher untuk metode RK31 [17]. 35
Tabel 4.4. Tabel Butcher untuk metode RK41 [17]. 36
Tabel 4.5. Tabel Butcher untuk metode RK5 [17]. 36
Tabel 4.6. Tabel Butcher untuk metode Dormand–Prince (DP5(4)) [17]. . 36
Tabel 4.7. Tabel Butcher untuk metode dengan estimasi galat 37

Tabel 5.1. Hasil perhitungan nilai akar rerata kuadrat galat hasil perhitungan dengan metode numerik tertentu pada permasalahan 1, 2, dan 3. Permasalahan tersebut memiliki solusi berupa fungsi polinomial dengan nilai derajat polinomial 2, 3, dan 4 secara berurutan untuk 3 permasalahan tersebut. 57
Tabel 5.2. Akar rerata kuadrat galat metode DP5(4)a dan DP5(4)ai ketika digunakan untuk menyelesaikan permasalahan 1, 2, dan 3. . . . 58
Tabel 5.3. Hasil perhitungan permasalahan 4 untuk $T = 10\,[\mathrm{N}]$, dengan $\Delta t = 1/44.100$, dan durasi simulasi $1\,[\mathrm{s}]$. 59
Tabel 5.4. Hasil perhitungan permasalahan 4 untuk $T = 20\,[\mathrm{N}]$, dengan $\Delta t = 1/44.100$, dan durasi simulasi $1\,[\mathrm{s}]$. 59

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.5. Hasil perhitungan permasalahan 4 untuk $T = 30\,[\mathrm{N}]$, dengan $\Delta t = 1/44.100$, dan durasi simulasi $1\,[\mathrm{s}]$. 59

Tabel 5.6. Hasil perhitungan permasalahan 4 untuk $T = 40\,[\mathrm{N}]$, dengan $\Delta t = 1/44.100$, dan durasi simulasi $1\,[\mathrm{s}]$. 59

Tabel 5.7. Hasil perhitungan permasalahan 4 untuk $T = 50\,[\mathrm{N}]$, dengan $\Delta t = 1/44.100$, dan durasi simulasi $1\,[\mathrm{s}]$. 59

Tabel 5.8. Hasil variasi jumlah diskritisasi elemen senar. 63

Tabel 5.9. Frekuensi analitik dan frekuensi hasil simulasi untuk validasi kondisi batas massa serta rasio frekuensi terbesar dan beda frekuensi relatif terbesar antara 2 frekuensi tersebut. 72

Tabel 5.10. Koefisien peluruhan amplitudo getaran senar akibat variasi parameter R_L. 72

Tabel 5.11. Perbandingan beberapa puncak frekuensi getaran hasil eksekusi simulator, di mana f_1 adalah hasil simulasi Sedjati dan f_2 adalah hasil simulasi penulis. 78

Tabel 5.12. Batasan Eksplorasi 82

Tabel 5.13. Durasi stabil eksekusi simulator dengan sel bagian atas adalah getaran senar tanpa hambatan udara dan bagian bawah adalah getaran senar dengan hambatan udara, di mana sel kosong adalah parameter yang tidak disimulasikan karena membutuhkan durasi simulasi lebih lama daripada $1\,[\mathrm{jam}]$, tanda T berarti parameter tersebut tidak dapat disimulasikan karena membutuhkan $\Delta t \leq 10^{-16}$, dan sel berwarna merah adalah sel dengan durasi stabil simulasi $< 1{,}00\,[\mathrm{s}]$. Nilai $m_L/m_s = 0$ dan $R_L/(\mu\gamma) = 0$ pada tabel ini diwakili dengan $\log(m_L/m_s)$ dan $\log(R_L/(\mu\gamma))$ sama dengan -10. 83

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.14. Pengaruh nilai m_L/m_s terhadap $(R_L/(\mu\gamma))_{ref}$. 90

Tabel C.1. Durasi eksekusi kode dalam [s]. 113

Tabel C.1. (lanjutan) Durasi eksekusi kode dalam [s]. 114

Tabel C.1. (lanjutan) Durasi eksekusi kode dalam [s]. 115

Tabel C.1. (lanjutan) Durasi eksekusi kode dalam [s]. 116

Tabel C.2. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 1 menggunakan implementasi langsung. Pada permasalahan ini, metode Euler tidak dapat mencapai hasil yang akurat. 117

Tabel C.3. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 2 menggunakan implementasi langsung. Pada permasalahan ini, metode Euler, Sedjati, dan RK21 tidak dapat mencapai hasil yang akurat. 118

Tabel C.3. (lanjutan) Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 2 menggunakan implementasi langsung. Pada permasalahan ini, metode Euler, Sedjati, dan RK21 tidak dapat mencapai hasil yang akurat. 119

Tabel C.4. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 3 menggunakan implementasi langsung. Pada permasalahan ini, metode Euler, Sedjati, RK21, dan RK31 tidak dapat mencapai hasil yang akurat. 120

Tabel C.4. (lanjutan) Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 3 menggunakan implementasi langsung. Pada permasalahan ini, metode Euler, Sedjati, RK21, dan RK31 tidak dapat mencapai hasil yang akurat. 121

Tabel C.5. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 1 menggunakan pustaka DifferentialEquations.jl. 122

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel C.6. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 2 menggunakan pustaka DifferentialEquations.jl. 123

Tabel C.7. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 3 menggunakan pustaka DifferentialEquations.jl. 124

Tabel C.8. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 1 menggunakan metode integrasi numerik DP5(4) dengan ukuran langkah waktu adaptif dan pengaturan galat 10^{-6}. 124

Tabel C.9. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 2 menggunakan metode integrasi numerik DP5(4) dengan ukuran langkah waktu adaptif dan pengaturan galat 10^{-6}. 125

Tabel C.10. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 3 menggunakan metode integrasi numerik DP5(4) dengan ukuran langkah waktu adaptif dan pengaturan galat 10^{-6}. 125

Tabel C.11. Hasil perhitungan amplitudo solusi untuk permasalahan 1, 2, dan 3 menggunakan metode integrasi numerik DP5(4) dengan langkah waktu adaptif yang diinterpolasi. 126

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. *Bundengan* beserta bagian komponen-komponen penyusunnya, yaitu (a) *kowangan*, (b) pelat bambu, dan (c) senar dan bandulan. 2
Gambar 1.2. Sub permasalahan dari pelarasan *bundengan* [2]. 3

Gambar 2.1. Pengaruh posisi bandulan terhadap durasi getaran [11]. 6

Gambar 3.1. Skema sistem pegas bermassa [14]. 13
Gambar 3.2. Proyeksi gerak melingkar terhadap gerak dari sistem pegas bermassa [14]. 14
Gambar 3.3. Segmen senar dengan tegangan T [7]. 16
Gambar 3.4. Osilator harmonik teredam dengan gaya penggerak $f(t)$ [7]. . 17
Gambar 3.5. Interpolasi linier [16]. 28

Gambar 4.1. Diagram alir tata laksana penelitian. 30
Gambar 4.2. Diagram alir pembuatan simulator 32
Gambar 4.3. Skema diskritisasi elemen spasial dan elemen waktu, di mana (1) garis hitam-merah menunjukkan segmen senar bermassa Δm_s yang jumlahnya sama dengan jumlah elemen spasial, $n_s = n_x - 1$ dan (2) diskritisasi elemen waktu dimulai dari 0, karena $t = 0$ merupakan kondisi awal dari senar *bundengan* saat mulai dipetik. 33
Gambar 4.4. Diagram alir validasi simulator 40

Gambar 5.1. Hasil simulasi stabil untuk $n_t = 100.000$. 44

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.2. Rerata durasi eksekusi kode untuk permasalahan getaran senar *bundengan* dengan *bandulan* berupa titik elemen massa, dengan pengulangan sebanyak 50 kali dan *error bar* mewakili deviasi standar. Eksekusi dengan Scilab untuk $n_t = 100.000$ hanya dilakukan untuk 5 kali pengulangan, karena tiap pengulangan memerlukan durasi eksekusi sekitar $238\,[\mathrm{s}]$. 50

Gambar 5.3. Selisih $|\sin(\theta) - \tan(\theta)|$ akibat pengaruh amplitudo pemetikan dengan garis biru menunjukkan $|\sin(\theta) - \tan(\theta)| = 10^{-6}$. 62

Gambar 5.4. Skema peningkatan performa dalam bentuk durasi eksekusi yang lebih singkat ketika *multithreading* dibandingkan dengan *single threading* [34]. 65

Gambar 5.5. Rerata durasi eksekusi kode untuk variasi pada jumlah *thread* dan jumlah segmen senar, n_s, dengan pengulangan sebanyak 5 kali dan *error bar* pada grafik ini mewakili deviasi standar dari 5 pengulangan tersebut. 66

Gambar 5.6. Kondisi batas dengan ujung tetap pada $x = 0$ serta gabungan massa dan peredam pada $x = L$, di mana massa dan peredam tersebut hanya bisa bergerak secara transversal (sumbu-y). . . 69

Gambar 5.7. Spektrum frekuensi getaran senar akibat variasi parameter kondisi batas massa m_L, di mana tiap grafik memiliki *offset* yang berbeda. 71

Gambar 5.8. Lokasi elemen senar di dalam simulator penulis berdasarkan indeks *array*, di mana lokasi tersebut dituliskan dalam bentuk notasi $x[\mathrm{indeks}]$. 74

Gambar 5.9. Diagram gaya bebas yang menunjukkan gaya yang bekerja pada bagian ujung kanan dari *bandulan* [5]. 76

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.10. Spektrum frekuensi getaran senar berdasarkan variasi rasio parameter H/D. 77
Gambar 5.11. Hasil simulasi yang tidak stabil ketika nilai $H/D = 2{,}6$. . . . 77
Gambar 5.12. Spektrum frekuensi getaran hasil simulasi Sedjati ketika diberi variasi nilai H/D, di mana puncak yang ditandai dengan warna merah adalah puncak ke-4 untuk H/D sebesar $2{,}0$ hingga $2{,}5$ secara berurutan dari bagian atas [5]. 79
Gambar 5.13. Lokasi elemen senar dan kondisi batas di dalam simulator penulis berdasarkan indeks *array*, di mana lokasi tersebut dituliskan dalam bentuk notasi $x[\text{indeks}]$. 80
Gambar 5.14. Pengaruh rasio m_L/m_s terhadap pergeseran frekuensi puncak, di mana (a) adalah getaran tanpa hambatan udara dan (b) adalah getaran dengan hambatan udara. Garis tren menghubungkan nilai $R_L/(\mu\gamma)$ yang sama. 84
Gambar 5.15. Pengaruh rasio $R_L/(\mu\gamma)$ terhadap pergeseran frekuensi puncak, di mana (a) adalah getaran tanpa hambatan udara dan (b) adalah getaran dengan hambatan udara. Garis tren menghubungkan nilai m_L/m_s yang sama. 85
Gambar 5.16. Pengaruh rasio m_L/m_s terhadap rasio amplitudo saat $t = 0{,}05$ [s] terhadap amplitudo awal, di (a) adalah getaran tanpa hambatan udara dan (b) adalah getaran dengan hambatan udara. Garis tren menghubungkan nilai $R_L/(\mu\gamma)$ yang sama. . 86

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.17. Pengaruh rasio $R_L/(\mu\gamma)$ terhadap rasio amplitudo saat $t = 0{,}05\,[\mathrm{s}]$ terhadap amplitudo awal, di mana (a) adalah untuk getaran tanpa hambatan udara dan (b) adalah getaran dengan hambatan udara. Garis tren menghubungkan nilai m_L/m_s yang sama. 87

Gambar B.1. Kondisi batas dengan ujung tetap pada $x = 0$ dan massa pada $x = L$, di mana massa tersebut hanya bisa bergerak secara transversal (sumbu-y). 100

Gambar B.2. Kondisi batas dengan ujung tetap pada $x = 0$ dan peredam pada $x = L$, di mana peredam tersebut hanya bisa bergerak secara transversal (sumbu-y). 102

Gambar B.3. Diagram alir perhitungan solusi persamaan diferensial menggunakan metode DP5(4) dengan ukuran langkah waktu adaptif. 107

Gambar B.4. Diagram alir algoritma penyimpanan solusi hasil interpolasi. . 111

Gambar C.1. Pengaruh variasi parameter R_L terhadap amplitudo getaran senar bagian tengah (*mid*) dan bagian ujung dengan kondisi batas yang divariasikan (*boundary*), di mana untuk $R_L/(\mu\gamma) = 10^{-2}$ dan 10^{-1} bagian tengah dan bagian ujung dengan kondisi batas memiliki simpangan yang sama besar sehingga menghasilkan grafik yang menumpuk. 127

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar C.2. Puncak frekuensi getaran senar *bundengan* dengan *bandulan* akibat variasi nilai m_L/m_s, di mana dibagi menjadi 3 daerah $R_L/(\mu\gamma)$ untuk nilai $R_L/(\mu\gamma)$ = $[0, 10^{-2}]$, $[10^{-2}, 10^{2}]$, $[10^{2}, 10^{10}]$ yang ditunjukkan pada (a) dan (b), (c) dan (d), dan (e) dan (f) secara berurutan. Getaran senar *bundengan* tanpa hambatan udara ditunjukkan pada (a), (c), dan (e), sedangkan untuk getaran dengan hambatan udara ditunjukkan pada (b), (d), dan (f). 129

Gambar C.3. Puncak frekuensi getaran senar *bundengan* dengan *bandulan* akibat variasi nilai $R_L/(\mu\gamma)$, di mana dibagi menjadi 3 daerah m_L/m_s untuk nilai m_L/m_s = $[0, 10^{-2}]$, $[10^{-2}, 10^{2}]$, $[10^{2}, 10^{10}]$ yang ditunjukkan pada (a) dan (b), (c) dan (d), dan (e) dan (f) secara berurutan. Getaran senar *bundengan* tanpa hambatan udara ditunjukkan pada (a), (c), dan (e), sedangkan untuk getaran dengan hambatan udara ditunjukkan pada (b), (d), dan (f). 131

Gambar C.4. Rasio amplitudo getaran senar *bundengan* saat $t = 0{,}05$ [s] terhadap amplitudo pemetikan awal akibat variasi nilai m_L/m_s, di mana dibagi menjadi 3 daerah $R_L/(\mu\gamma)$ untuk nilai $R_L/(\mu\gamma)$ = $[0, 10^{-2}]$, $[10^{-2}, 10^{2}]$, $[10^{2}, 10^{10}]$ yang ditunjukkan pada (a) dan (b), (c) dan (d), dan (e) dan (f) secara berurutan. Getaran senar *bundengan* tanpa hambatan udara ditunjukkan pada (a), (c), dan (e), sedangkan untuk getaran dengan hambatan udara ditunjukkan pada (b), (d), dan (f). 133

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Komputasional Pengaruh Kondisi Batas Impedansi Mekanik terhadap Karakteristik Getaran Senar Bundengan
IVAN EGA PRATAMA, Dr. Gea O. F. Parikesit, S.T., M.Sc.; Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2019 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar C.5. Rasio amplitudo getaran senar *bundengan* saat $t = 0{,}05\ [\mathrm{s}]$ terhadap amplitudo pemetikan awal akibat variasi nilai $R_L/(\mu\gamma)$, di mana dibagi menjadi 3 daerah m_L/m_s untuk nilai m_L/m_s = $[0, 10^{-2}]$, $[10^{-2}, 10^{2}]$, $[10^{2}, 10^{10}]$ yang ditunjukkan pada (a) dan (b), (c) dan (d), dan (e) dan (f) secara berurutan. Getaran senar *bundengan* tanpa hambatan udara ditunjukkan pada (a), (c), dan (e), sedangkan untuk getaran dengan hambatan udara ditunjukkan pada (b), (d), dan (f). 135