PROSIDING SEMINAR NASIONAL

Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA

Tanggal 02 Juni 2012, FMIPA UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

ISBN: 978-979-99314-6-7

Bidang:

- Matematika dan Pendidikan Matematika
- Fisika dan Pendidikan Fisika
- Kimia dan Pendidikan Kimia
- Biologi dan Pendidikan Biologi
- Ilmu Pengetahuan Alam



Tema:

Pemantapan Keprofesionalan Peneliti, Pendidik, dan Praktisi MIPA Untuk Membangun Insan yang Kompetitif dan Berkarakter Ilmiah

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Tahun 2012

PROSIDING SEMINAR NASIONAL

Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA

Tanggal 02 Juni 2012, FMIPA UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

ISBN: 978-979-99314-6-7

Tim Editor:

1. Kismiantini, M.Si
2. Denny Darmawan, M.Sc
3. Erfan Priyambodo, M.Si
4. Agung Wijaya, M.Pd
5. Sabar Nurohman, M.Pd

Tim Reviewer:

1. Dr. Agus Maman Abadi
2. Wipsar Sunu Brams Dwandaru, M.Sc, Ph.D
3. Dr. Endang Wijayanti
4. Dr. Heru Nurcahyo



Tema:

Pemantapan Keprofesionalan Peneliti, Pendidik, dan Praktisi MIPA Untuk Membangun Insan yang Kompetitif dan Berkarakter Ilmiah

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Tahun 2012

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Prosiding Seminar Nasional MIPA Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) 2012 ini dapat selesai disusun sesuai dengan tenggat waktu yang telah ditentukan oleh panitia. Seluruh makalah yang ada dalam prosiding ini merupakan kumpulan makalah yang telah lolos proses seleksi yang dilakukan tim reviewer dan telah disampaikan dalam kegiatan seminar nasional yang diselenggarakan pada tanggal 2 Juni 2012 di Fakultas MIPA UNY.

Seminar Nasional MIPA UNY 2012 mengangkat tema "*Pemantapan Profesionalisme Peneliti, Pendidik dan Praktisi MIPA untuk Membangun Insan yang Kompetitif dan Berkarakter Ilmiah*". Makalah utama yang ditampilkan dalam kegiatan ini adalah "*Publikasi Ilmiah Sebagai Produk Utama Aktivitas Penelitian Ilmiah*" yang disampaikan oleh Dr. Langkah Sembiring dari Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada dan "*Upaya Membangun Insan Berkarakter Ilmiah dan Kompetitif*" yang disampaikan oleh Sudjoko, M.Si., dari Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Yogyakarta. Selain makalah utama, dalam seminar ini juga disampaikan hasil kajian dan penelitian dalam bidang MIPA dan Pendidikan MIPA yang dilakukan oleh para peneliti di universitas dan lembaga penelitian yang ada di Indonesia. Makalah-makalah yang disampaikan terbagi atas lima bidang utama, yaitu: bidang matematika dan pendidikan matematika, bidang fisika dan pendidikan fisika, bidang kimia dan pendidikan kimia, bidang biologi dan pendidikan biologi, serta pendidikan IPA.

Semoga prosiding ini dapat ikut berperan dalam penyebaran hasil kajian dan penelitian di bidang MIPA dan pendidikan MIPA sehingga dapat diakses oleh khalayak yang lebih luas dan bermanfaat bagi pembangunan bangsa.

Yogyakarta, Juni 2012

Tim Editor

Sambutan Ketua Panitia

Assalamuallaikum wr. wb.

Yth. Rektor UNY,

1. Yth. Dekan dan para Wakil Dekan FMIPA UNY,
2. Yth. Para Pembicara Utama,
3. Yth.Bapak/Ibu Tamu Undangan
4. Yth. Para pemakalah dan peserta seminar sekalian,

Salam sejahtera,

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas segala karunia dan rahmatNya yang telah dilimpahkan kepada kita semua. Atas ijin-Nya pula, kita pada hari ini dapat berkumpul di sini, dalam keadaan sehat jasmani dan rohani, untuk mengikuti Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan FMIPA sebagai rangkaian kegiatan memperingati Dies Natalis ke- 48 Universitas Negeri Yogyakarta tahun 2012.

Perkembangan IPTEK yang sangat pesat di dunia memerlukan peningkatan kesadaran dan upaya pengembangan ilmu dasar seperti MIPA. Di sisi lain, globalisasi dan kemudahan komunikasi memberikan implikasi penyerapan budaya luar yang lebih banyak ditemui pada generasi muda. Peran nyata dunia pendidikan dan penelitian dalam membangun jatidiri bangsa yang mandiri, inovatif dan adaptif tanpa menghilangkan karakter budaya bangsa perlu ditingkatkan. Oleh karena, sesuai dengan tema seminar yang kami susun, seminar ini bertujuan untuk memantapkan profesionalisme peneliti, pendidik dan praktisi MIPA untuk membangun insan yang kompetitif dan berkarakter ilmiah.

Pada seminar ini, kami mengundang 3 pembicara utama yang akan menyampaikan makalah utama pada sidang pleno, yaitu Prof. Dr. Supriadi Rustad, M.Si (Direktur Diktendik, Dikti), Langkah Sembiring, M.Sc, Ph.D (Fakultas Biologi UGM) serta Sudjoko, M.Si (Staf Pengajar Jurdik Biologi UNY). Atas nama panitia, kami mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas kesediaan beliau bertiga hadir dalam acara ini. Ketiga pembicara akan menyampaikan makalah terkait dengan pengembangan pendidikan karakter dengan sudut pandang yang saling melengkapi, yaitu dari segi kebijakan pendidikan guru, publikasi ilmah serta pelaksanaan pembelajaran.

Selain itu panitia juga telah menerima sekitar 169 makalah pendamping, dari berbagai Instansi di Indonesia, seperti UM Malang, UGM, Unpad, Univ. Terbuka, UNY, Unlam, Univ.Tanjungpura, ITS, UKSW, Sanata Dharma, Politeknik Semarang, UAD, UIN Suka, Unsri, Binus, Untirta, SMP 5 Wates, P4TK BMTI, SMA 2 Madiun, Univ.Mataram, UPI, SMA 5 Metro Lampung, Dinas Pendidikan KulonProgo, TK Masjid Syuhada, Univ.Negeri Manado, STKIP Siliwangi, IKIP PGRI Madiun, STIS serta karya PKMP mahasiswa FMIPA UNY.

Kegiatan Seminar Nasional MIPA tahun 2012 ini tidak dapat diselengggarakan dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terimakasih yang tak terkira kepada rektor Universitas Negeri Yogyakarta, Bapak Prof.Dr. Rochmat Wahab, M.Pd, M.A atas dukungannya serta Dekan FMIPA UNY, Bapak Dr. Hartono atas dorongan, dukungan dan fasilitas yang disediakan. Terimakasih kepada para sponsor dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu. Ucapan

terimakasih juga kami sampaikan kepada teman-teman panitia yang telah bekerja keras demi suksesnya penyelenggaraan seminar ini

Kami juga mengucapkan terimakasih kepada Bapak, Ibu dan Saudara peserta yang telah berkenan mengikuti seminar ini hingga selesai nantinya. Atas nama panitia, kami mohon maaf yang sebesar-besarnya jika dalam kegiatan ini terdapat kesalahan, kekurangan maupun hal-hal yang tidak/kurang berkenan di hati Bapak, Ibu dan Saudara sekalian. Akhir kata, semoga seminar ini dapat memberikan sumbangan yang signifikan bagi kemajuan bangsa Indonesia terutama dalam memajukan bidang MIPA dan Pendidikan MIPA.Terimakasih.

SELAMAT BERSEMINAR!!

Wassalamuallaikum wr. wb ,

Yogyakarta, Juni 2012
Ketua Panitia

Wipsar Sunu Brams D, Ph.D

Sambutan Dekan FMIPA UNY

Assalamualaikum Wr.Wb.

Para peserta seminar yang berbahagia, selamat datang di FMIPA UNY.

Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) ini merupakan agenda rutin tahunan FMIPA UNY dan sekaligus memperingati Dies UNY yang ke 48 (enam windu).

Pada tahun ini tema seminar adalah Pemantapan Profesionalisme Peneliti, Pendidik & Praktisi MIPA untuk Membangun Insan yang Kompetitif dan Berkarakter Ilmiah. Tema ini selaras dengan tema Dies UNY ke 48 yaitu Membangun Insan Berkarakter dan Bermartabat.

Salah satu karakter yang terkait dengan keilmuan adalah kejujuran (jujur) dan orang yang jujur akan bermartabat. Akhir-akhir ini plagiarisme sangat marak,itu artinya karakter ketidak jujuran sedang marak juga. Disisi lain dengan berkembangnya IT kita akan semakin mudah apabila mau, bertindak sebagai plagiat. Akan tetapi kita juga dapat dengan mudah mengetahui apakah ada tindakan plagiarism atau tidak dengan bantuan IT tersebut. Misalkan, dengan mengupload karya kita secara online. Maka selain promosi tentang karya kita juga sekaligus membantu untuk mencegah maraknya plagiarism. Karena ada satu alat yang bisa membandingkan satu karya dengan karya yang lain untuk mengetahui berapa persen karya – karya tersebut saling beririsan. Harapan kami proseding seminar ini juga akan diupload pada website UNY, sehingga bisa didownload dan semakin banyak dibaca orang.

Akhir kata saya ucapkan terimakasih atas partisipasi Bapak/ Ibu semua pada seminar ini dan mudah-mudahan kita semua bisa berkarakter dan bermartabat. Amien.
Selamat berseminar

Wassalamualaikum Wr.Wb.

Dekan FMIPA UNY

Dr. Hartono

Daftar Isi

		halaman
	Halaman Sampul	i
	Halaman Editor dan Reviewer	ii
	Kata Pengantar	iii
	Sambutan Ketua Panitia	iv
	Sambutan Dekan FMIPA UNY	vi
	Daftar Isi	vii
	Makalah Utama	
01	**Publikasi Ilmiah Sebagai Produk Utama Aktivitas Penelitian Ilmiah** *Langkah Sembiring*	U-1
02	**Upaya Membangun Insan Berkarakter Ilmiah dan Kompetitif** *Sudjoko, M.S.*	U-13
	Makalah Paralel **Bidang Fisika**	
01	**Superposition of N-Soliton in Nonlinear Dispesive Medium- A Stability Study** *Arif Hidayat*	F-1
02	**Daya Henti dan Jangkauan Proton di dalam Medium; Kajian untuk Radioterapi Proton** *Eko Sulistya*	F-13
03	**Quantum Mechanical Ideal Diesel Engine** *E. Latifah, A. Purwanto*	F-21
04	**Kajian Dinamika Vorteks pada Sambungan Josepshon berdasarkan Persamaan TDGL Termodifikasi** *Hari Wisodo, Pekik Nurwanto, Agung Bambang*	F-29
05	**Pemanfaatan Sonogram untuk Mengidentifikasi Gong Ageng dari Gamelan di Keraton *Ngayogyakarta*** *Heru Kuswanto*	F-33
06	**Menyoal Batas Toleransi Arah Kiblat** *Judhistira Aria Utama, Turmudi*	F-37
07	**Kajian Teoritis Fenomena *Magnetic Surface Plasmon Resonance* pada Bahan Metamaterial**	F-41

Juliasih Partini, Kamsul Abraha

08 **Pengaruh Quantum Dot pada Sistem Surface Plasmon Polariton Berbasis Struktur Komposit Logam Dielektrik** F-49
Moh Adhib Ulil Absor, Kamsul Abraha

09 **Model Elektronik Pembangkit Listrik Nano Hidro** F-55
Mohammad Taufik

10 **Studi Pengembangan Model Fisika Pembangkit Listrik Nano Hidro** F-61
Mohammad Taufik

11 **Pengaruh Lekukan Bertekanan pada Serat Optik Plastik terhadap Pelemahan Intensitas Cahaya** F-67
Nopi Yudi Pramono

12 **Peningkatan Laju Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Kentang (Solanum Tubersum L.) melalui Spesifikasi Variabel Fisis Gelombang Akustik Keras Lemah Bunyi pada Permukaan Daun** F-73
Nur Kadarisman, Agus Purwanto, Dadan Rosana

13 **Sel Surya Berbasis Titania sebagai Sumber Energi Listrik Alternatif** F-85
Rita Prasetyowati

14 **Pengukuran Panjang Gelombang Pola Konvektif pada Kristal Cair Nematik** F-91
Dwiria W., Sri Hartini, Yusril Yusuf

15 **Kajian Kritis terhadap Karbon Aktif Tempurung Kelapa sebagai Bahan Sedimentasi** F-101
Suparno

16 **Penerapan Teknik Spektral dalam Terkait dengan Antisipasi Terjadinya Musim Basah/Kering Panjang di Indonesia** F-109
Eddy Hermawan

17 **Penentuan Datangnya Musim Kemarau/Penghujan di Provinsi Kalimantan Timur Berbasis Hasil Analisis Data Satelit** F-121
Eddy Hermawan

Bidang Pendidikan Fisika

01 **Pembelajaran dengan Metode Eksperimen Topik Rangkaian RCUntuk Menganalogikan Sistem Peranafasan pada Bidang Fisika Kesehatan** PF-1
Made Rai Suci Shanti Nurani Ayub, Adita Sutresno

02 **Pengembangan Perangkat Evaluasi Praktikum Berbasis *Group Work&Lab Report* untuk Meningkatkan Efektivitas Praktikum In*troduction Electricity, Magnetism And Optics*** PF-7
Yusman Wiyatmo, Suharyanto, Yos Sumardi, dan Subroto

03 **Analisis Karakter Diri Mahasiswa Yang Terbangun Melalui Perkuliahan Ipba Terintegrasi Berbasis Kecerdasan Majemuk** PF-15
Winny Liliawati' Nuryani Rustaman' Dhani Herdiwijaya, Dadi Rusdiana

04 **Analisis Perbandingan Kompetensi Materi Ipba Di Indonesia dan Korea Selatan pada Jenjang Sekolah Menengah Pertama** PF-23
Winny Liliawati

05 ***Rollout* Alfhe (*Active Learning For Higher Education*) Sebagai Implementasi Pendidikan Karakter Dan Aplikasinya Dalam Pembelajaran Di Prodidik Fisika Dan Pgsd Dalam Kerangka Kerjasama Internasional Dengan Dbe2-Usaid** PF-31
Suyoso, Dadan Rosana, Rahayu Dwisiwi Sr, Suparwoto, Insih Wilujeng, A.Abu Hamid
Rahayu Condro Murti

06 **Model KKN-PPL Tematik Pengembangan KitPraktikumSains Realistik Hasil *Re-Use* Limbah Anorganik Sebagai Media *Joyfull Learning* untuk Rehabilitasi Pendidikan dan Psikologis di SekolahTerdampak Erupsi Merapi** PF-57
Suyoso, Eko Widodo, Dadan Rosana

07 **Pembelajaran Kinematika Berbasis Diagram Gerak: Cara Baru Dalam Pengajaran Kinematika** PF-77
Sutopo

08 **Peran Strategis Pendidik Sains Dan Teknologi Dalam Membentuk Karakter Dan Budaya Santun Peserta Dikdik Di Sma/Smk** PF-87
Sudarmadi

09 **Hubungan Antara Minat Belajar Dan Kemampuan Berpraktikum Dengan Hasil Belajar Fisika Pada Kompetensi Dasar Fluida Statis Siswa Kelas Xi Ipa$_1$ Sma Negeri 5Metro, Lampung Tahun Pelajaran 2010/2011** PF-93

Wari Prastiti , Subeno Arif Wibowo

10 **Analisis Kebutuhan Pengembangan Model Diklat Berbasis ICT untuk Guru Fisika Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)** PF-103
Slamet Mugiono, Agus Setiawan

11 **Perbedaan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Pada Pembelajaran Fisika Menggunakan Praktikum *Real d*an Praktikum *Virtual* Pokok Bahasan Impuls Momentum** PF-109
Slamet Mt, Heru Kuswanto, Rian Galih Pradani, Unik Ika Pertiwi

12 **Penerapan Pendekatan Generik dan Metode Iqra' Dalam Pembelajaran Fisika Dapat Menumbuhkembangkan Karakter Murid** PF-115
Ahmad Abu Hamid

13 **Pengaruh Teman Sebaya Dan Kegiatan Ekstra Kurikuler Terhadap Hasil Belajar Fisika Siswa Xi Sma Negeri 2 Madiun Tahun 2011/2012** PF-131
Agus Susilo, Subeno Arif Wibowo

14 **Pengaruh Model Pembelajaran Clis (*Children Learning In Science*) Dalam Meningkatkan Kreativitas Dan Prestasi Siswa Pada Mata Pelajaran Ipa** PF-139
Aktris Widiyarti, Widayanti, Winarti,

15 **Mewujudkan Sebuah Showroom Fisika yang Menyajikan Berbagai Macam/Versi Alat Demonstrasi dan Alat Eksperimen Konsep Dasar Fisika SMA** PF-149
Budi Purwanto

16 **Perbedaan Prestasi Belajar Fisika Antara Pemberian Tugas Umpan Balik Tugas Terstruktur Presitasi Mandiri Dan Resitasi Klasikal Pada Siswa SMA Negeri 11 Yogyakarta** PF-155
Rahayu Dwi Siwi. S.R, Pujianto

17 **Pembelajaran Aktif untuk Menumbuh-Kembangkan Kompetensi Calon Guru Fisika** PF-165
Lia Yuliati

18 **Pengembangan Materi Ajar Termodinamika dengan Model *Educational Reconstruction*di Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya** PF-173
Leni Marlina

19 **Penyusunan Dan Analisis Tes Pemahaman (*Understanding*) Konsep Fisika Dasar Mahasiswa Calon Guru** PF-181

Kistiono, Andi Suhandi

20 **Pengembangan Kit Praktikum Sains Ramah Lingkungan Dari Bahan DaurUlang Dan Implementasinya Dalam Kegiatan Ppl-Kkn Melalui StrategiPemberdayaan Masyarakat Pemulung Di Sekitar Sekolah Mitra** PF-189
Juli Astono, Suyoso, Slamet Mt

21 **Pengembangan PBK-BAuntuk Meningkatkan KEMAMPUAN *PROBLEM-SOLVING*Calon Guru Fisika** PF-199
Joni Rokhmat, Agus Setiawan, Dadi Rusdiana

22 **Penentuan Koefisien Restitusi Mengunakan *Video Based Laboratory* Dan *Logger Pro 3.84*** PF-207
Fatkhulloh

23 **Penerapan Model *Blended E-Learning* Pada Matakuliah PendahuluanFisika Zat Padat di Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya** PF-215
Ida Sriyanti

24 **Pengaruh Pembelajaran Berbasis Diagram Benda Bebas Terhadap Peningkatan Pemahaman Gaya Dan Gerak Mahasiswa** PF-221
Parno, Budi Jatmiko, Soeparman Kardi

25 **Pengembangan Perangkat Pembelajaran Fisika Berbasis *Multiple Intelligences* untuk MA Kelas X Semester II di Pondok Pesantren** PF-229
Dwi Utami, Murtono,Joko Purwanto

26 **"Trend" dan "Isu" Tentang Penilaian dalam Pembelajaran Sains-Fisika** PF-237
Subroto

Bidang Pendidikan IPA

01 **Membangun Karakter Peserta Didik Melalui Pemaknaan Alat-Alat Uji Statistik dengan Nilai-Nilai Luhur Kehidupan** IPA-1
Amir Fatah

02 ***Six Hats Thinking* Berbasis Formasi Kelompok Sebagai Strategi *Creative And Collaborative Problem Solving* dalam Pembelajaran Sains** IPA-5
Asri Widowati

03 **Redesain Kurikulum S_1 Pendidikan IPAMenuju *Standards For Secondary Science Teacher Preparation*** IPA-15

Insih Wilujeng

04 **Pembelajaran Ipa-Fisika Menggunakan MetodeBerbasis Studi Kasus** IPA-27
Eko Widodo, Subroto

05 **Meningkatkan Kemampuan Menganalisa Kejadian Alam Pada Pembelajaran Sains Anak Usia 5-6 Tahun Melalui Pendekatan Inquiri di TK Masjid Syuhada Yogyakarta** IPA-33
Farida

06 **Penerapan Nilai-Nilai Budi Pekerti yang Terintegrasi Ddalam Pembelajaran Sains Terpadu Melalui *Living Values Educational Program* (LVEP)** IPA-41
Ismun Nisa Nadhifah, Ika Kartika

07 **Pengembangan *Subject-Specific Pedagogy* (Ssp) Untuk Mengembangkan Karakter Anak Pada Mata Pelajaran IPA Kelas 3 Sekolah Dasar** IPA-49
John Kembuan

08 **Pengembangan *Subject Specific Pedagogy* (Ssp) Ipa Untuk Mengembangkan Karakter SiswaSd Kelas V** IPA-57
Muhammad Subhan

09 ***Learning Cycle* Sebagai Upaya Menciptakan Pembelajaran Sains yang Bermakna** IPA-65
Purwanti Widhy H,

10 **Pengembangan Teknik Mitigasi dan Manajemen Bencana Alam Gempabumi Bagi Komunitas SMPdi Kabupaten Bantul Yogyakarta** IPA-73
Rahayu Dwisiwi Sr, Surachman, Joko Sudomo, Yusman Wiyatmo

11 **Menyiapkan Kompetensi Guru IPA : Kajian Integrasi Model *Pedagogycal Content Knowledge* dan *Kemp Instructional Design.*** IPA-83
Susilowati, M.Pd.

12 **Inovasi Media Pembelajaran Sain Teknologi Berbasis Mikrokontroler Sebagai Upaya Meningkatkan Kreatifitas Peserta Didik** IPA-89
Umi Rochayati, Sri Waluyanti, Djoko Santoso

13 **Peran Strategi Pendidik Sains dan Teknologi dalam Membentuk Karakter dan Budaya Santun Peserta Dikdik Di SMA/SMK** IPA-97
Sudarmadi

14 **Analisis Kurikulum Pendidikan IPA Fmipa UNYyang Berpotensi untuk Melahirkan *Sains-Enterpreunership*** IPA-103
Maryati

PEMBELAJARAN KINEMATIKA BERBASIS DIAGRAM GERAK: CARA BARU DALAM PENGAJARAN KINEMATIKA

Sutopo

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Malang
Email: sutopo@fisika.um.ac.id, sutopo1909@gmail.com

Untuk memahami dengan baik ide-ide mekanika, siswa (mahasiswa) perlu menguasai konsep posisi, kecepatan, dan percepatan. Namun, banyak penelitian yang mengungkapkan sulitnya mahasiswa memahami konsep-konsep tersebut, terutama terkait dengan sifat vektornya. Tampaknya, hal itu berpangkal dari kesulitan menerapkan definisi operasional kecepatan dan percepatan pada persoalan non kalkulus.

Makalah ini mengusulkan alternatif cara untuk mengoperasionalkan definisi tersebut. Definisi kecepatan $\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ dioperasionalkan menjadi "kecepatan rata-rata $\bar{\mathbf{v}}$ dalam suatu interval waktu yang pendek (tetapi cukup terbedakan) sama dengan kecepatan sesaat $\mathbf{v}$ di pertengahan waktu". Demikian pula dengan definisi operasional percepatan $\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$. Setelah diuji kesahehahnya, model tersebut kemudian dicoba untuk menganalisis diagram gerak (*multi-flash*) sampai dapat dijelaskan bagaimana posisi, kecepatan, dan percepatan benda berubah terhadap waktu dengan menggunakan berbagai ragam representasi (verbal, diagram, grafik, dan persamaan matematis).

Metode tersebut telah dicobakan pada matakuliah Kapita Selekta Fisika Sekolah di prodi Pendidikan Fisika, FMIPA UM, semester Gasal 2011/2012. Hasilnya, mahasiswa dapat menemukan sendiri karakteristik beberapa jenis gerak, misalnya gerak lurus dengan percepatan konstan, gerak harmonis sederhana, gerak parabola, dan gerak melingkar; serta dapat memahami konsep percepatan dengan lebih baik.

Kata-kata kunci: kinematika, diagram gerak, non kalkulus, multi-representasi

PENDAHULUAN

Mekanika merupakan cabang fisika yang sangat fundamental. Singh & Schunn (2009) menyatakan bahwa pembelajaran mekanika sering manjadi target utama intervensi program pendidikan di jenjang SMA karena konsep-konsep dalam mekanika merupakan dasar bagi cabang-cabang sains lainnya dan sangat berkaitan dengan pengalaman sehari-hari siswa. Oleh sebab itu, berbagai penelitian untuk mengembangkan pembelajaran mekanika yang lebih efektif terus dilakukan hingga kini (misal, Sadaghiani, 2012; Sayre *et al*., 2012; Waldrip, Prain, & Sellings, 2012).

Agar berhasil memahami dengan baik ide-ide mekanika, siswa (mahasiswa) perlu memiliki pemahaman yang kokoh tentang konsep-konsep kinematika seperti posisi, kecepatan, dan percepatan; baik secara kualitatif-konseptual maupun secara kuantitatif-operasional. Namun demikian, banyak penelitian yang menunjukkan betapa sulitnya mengajarkan mekanika dengan efektif. Rosenblatt and Heckler (2011) menyelidiki pemahaman siswa tentang hubungan antara arah gaya resultan, kecepatan, dan percepatan. Mereka menemukan bahwa sebagian besar siswa mengalami miskonsepsi. Thornton and Sokoloff (1998) melaporkan banyak siswa yang percaya bahwa gaya resultan searah dengan kecepatan. Penelitian lain menunjukkan bahwa siswa sering mengalami kesulitan untuk membedakan kecepatan dan percepatan (Hake, 1998; Reif & Allen, 1992). Penelitian Shaffer dan McDermott (2005) melaporkan hanya sekitar 30% mahasiswa pascasajana (n = 125), hanya sekitar 5% calon guru fisika (n = 18), dan hanya sekitar 15% mahasiswa fisika program doktor (n = 22) di University of Washington and Montana State University, yang bisa

menjelaskan dengan baik arah percepatan di berbagai titik pada gerak pendulum, meski hanya secara pendekatan. Yang lebih mencengangkan lagi adalah laporan Reif dan Allen (1992), bahwa hanya satu dari 5 professor pengajar fisika dasar di universitas besar yang menunjukkan pemahaman yang sempurna, bahkan ada satu profesor yang pemahamannya sangat kurang, tentang percepatan bandul tersebut. Ini menunjukkan bahwa konsep percepatan merupakan konsep yang sulit dipahami sekaligus sulit diajarkan. Oleh karena itu, penting untuk mengantisipasi apakah kelemahan pemahaman kinematika juga dialami mahasiswa calon guru fisika kita. Ternyata, Sutopo, Liliasari, Waldrip, dan Rusdiana (2011) menemukan bahwa hal tersebut benar-benar terjadi. Pemahaman mahasiswa tentang percepatan dan kecepatan masih sangat lemah meskipun mereka telah mempelajari konsep-konsep tersebut melalui matakuliah Fisika Dasar dan Mekanika, bahkan sejak belajar sains di SMP. Mahasiswa juga mengalami sejumlah miskonsepsi yang sangat mirip dengan taksonomi miskonsepsi yang diungkapkan oleh Holloun dan Hestenes (1985). Ini menyiratkan bahwa pengalaman belajar fisika mereka sebelumnya belum bisa mengantarkan mereka memahami konsep tersebut dengan baik.

Berdasarkan interaksi dengan mahasiswa dan hasil penelitian sebelumnya (Sutopo, Liliasari, Waldrip, & Rusdiana, 2011), penulis menduga bahwa akar masalah tersebut adalah mahasiswa sulit mengoperasionalkan definisi formal kecepatan dan percepatan, $\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ dan $\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$. Tampaknya, kesulitan tersebut tidak dapat diatasi oleh mahasiswa dengan merujuk pada buku-buku teks fisika universitas terkenal seperti Serway & Jewett (2010), Giancoli (2005), Halliday & Resnick (2011), maupun Sears & Zemansky (2008). Dalam menjelaskan definisi tersebut, semua buku yang ada cenderung menggunakan pendekatan kualitatif. Sebagian buku sudah menggunakan diagram gerak (*multiflash*) untuk memberikan ilustrasi bagaimana menganalisis suatu gerak. Namun, yang dibahas sebatas kecepatan (dan percepatan) rata-rata. Penulis belum menemukan contoh menganalisis diagram gerak untuk menjelaskan kecepatan (percepatan) sesaat secara kuantitatif sekaligus kualitatif.

Untuk mengatasi hal tersebut, penulis mengajukan cara memaknai definisi tersebut sebagai berikut. Definisi kecepatan $\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ dioperasionalkan menjadi "kecepatan rata-rata $\bar{\mathbf{v}}$ dalam suatu interval waktu yang pendek (tetapi cukup terbedakan) sama dengan kecepatan sesaat $\mathbf{v}$ di pertengahan waktu". Demikian pula dengan definisi percepatan $\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$. Penulis telah mencoba menerapkan cara tersebut pada perkuliahan Kapita Selekta Fisika Sekolah. Dengan bantuan dosen, mahasiswa menerapkan definisi operasional tersebut secara konsisten untuk menganalisis diagram gerak yang diberikan sampai dapat menemukan sendiri karakteristik gerak yang dipelajari (bagaimana posisi, kecepatan, dan percepatan berubah terhadap waktu) kemudian mendeskripsikan hasil temuannya menggunakan multi representasi (menggunakan berbagai ragam representasi secara integral, yaitu verbal, diagram, tabel, grafik, dan persamaan matematis). Hasilnya, mahasiswa dapat menemukan sendiri konsep-konsep penting pada gerak satu dimensi (gerak dipercepat dengan percepatan konstan dan osilator harmonis) dan dua dimensi (gerak parabola dan gerak melingkar). Mahasiswa juga lebih memahami karakter vektor yang melekat pada posisi, kecepatan, dan percepatan. Mereka juga dapat memperbaiki miskonsepsi mereka antara lain, percepatan selalu searah dengan percepatan, percepatan negatif berarti perlambatan, dan percepatan selalu bersifat mempercepat atau memperlambat gerak.

JUSTIFIKASI MODEL

Pada gerak dengan kecepatan konstan, model tersebut tentu saja benar sebab, sesuai dengan definisinya, kecepatan benda sama di setiap saat sehingga kecepatan rata-rata dalam interval berapa pun akan selalu sama dengan kecepatan sesaat di semua titik, termasuk di pertengahan interval. Pada bagian ini akan ditunjukkan bahwa model tersebut juga eksak manakala diterapkan pada gerak di mana posisi benda berubah terhadap waktu secara kuadratik, seperti pada gerak lurus

dengan percepatan konstan. Selanjutnya, juga akan ditunjukkan besarnya ralat, dan bagaimana mengatasinya, jika diterapkan pada gerak di mana posisi berubah terhadap waktu secara kubik (pangkat tiga) atau secara sinusoidal. Persoalan yang disebut pertama jarang terjadi. Di lain pihak, persoalan yang disebut belakang sering muncul dalam pembelajaran, misalnya pada gerak harmonis sederhana dan gerak melingkar.

Justifikasi pada gerak di mana posisi berubah terhadap waktu secara kuadratik

Misalkan perubahan posisi benda terhadap waktu mengikuti hubungan $x(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2$ dengan c_0, c_1, dan c_2 suatu konstanta. Derivatif pertama terhadap waktu menghasilkan kecepatan sesaat pada sebarang waktu *t*, yaitu $v(t) = c_1 + 2c_2 t$. Dengan demikian, kecepatan sesaat pada $t_m = t + \Delta t/2$, yaitu di pertengahan waktu dalam interval dari *t* sampai *t* +Δ*t*, adalah

$$v(t_m) = c_1 + 2c_2\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) = c_1 + 2c_2 t + c_2 \Delta t.$$

Kecepatan rata-rata dalam interval itu adalah

$$\bar{v} = \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{c_0 + c_1(t+\Delta t) + c_2(t+\Delta t)^2 - (c_0 + c_1 t + c_2 t^2)}{\Delta t} = c_1 + 2c_2 t + c_2 \Delta t.$$

Jelaslah bahwa $v(t_m) = \bar{v}$, yaitu kecepatan rata-rata dalam suatu interval sama dengan kecepatan sesaat di pertengahan interval. Keeksakan rumusan ini menjamin kesahehan model, berapa pun panjang interval yang diambil. Dengan kata lain, model ini secara syah dapat digunakan untuk menganalisis gerak satu dimensi, misalnya, jejak ticker timer gerak dipercepat beraturan, atau komponen vertikal pada gerak parabola tanpa gesekan udara.

Justifikasi pada gerak di mana posisi berubah terhadap waktu secara kubik

Misalkan perubahan posisi terhadap waktu dinyatakan sebagai $x(t) = c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3$ dengan c_0, c_1, c_2, dan c_3 suatu konstanta. Kecepatan sesaat pada sebarang waktu *t* adalah $v(t) = c_1 + 2c_2 t + 3c_3 t^2$, sehingga kecepatan sesaat pada pertengahan interval waktu dari *t* sampai *t* +Δ*t*, yaitu $t_m = t + \Delta t/2$, adalah

$$v(t_m) = c_1 + 2c_2\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) + 3c_3\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)^2 = c_1 + 2c_2 t + c_2 \Delta t + 3c_3 t^2 + 3c_3 t \Delta t + \frac{3}{4} c_3 (\Delta t)^2.$$

Kecepatan rata-rata dalam interval itu adalah

$$\bar{v} = \frac{x(t+\Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{c_0 + c_1(t+\Delta t) + c_2(t+\Delta t)^2 + c_3(t+\Delta t)^3 - (c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3)}{\Delta t}$$
$$= c_1 + 2c_2 t + c_2 \Delta t + 3c_3 t^2 + 3c_3 t \Delta t + c_3 (\Delta t)^2.$$

Perbedaan antara $v(t_m)$ dan $\bar{v}$, selanjutnya disebut error atau ralat, adalah

$$Error = |v(t_m) - \bar{v}| = c_3 (\Delta t/2)^2.$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa error penggunaan model ini hanya bergantung pada Δ*t* dan c_3, tidak bergantung pada *t*, yaitu waktu awal di mana interval itu dimulai. Sebagai misal, dengan mengambil Δ*t* = 1 s, maka errornya selalu sebesar 0,25 c_3, di mana pun interval itu dibuat. Namun demikian, karena kecepatan sesaat bergantung pada *t*, maka error relatif terhadap nilai eksak kecepatan sangat bergantung pada *t*, selain juga pada nilai c_1 dan c_2. Jika kedua konstanta c_1 dan c_2 positif, maka semakin besar *t* semakin besar nilai eksak kecepatan sesaatnya. Akibatnya, error relatifnya semakin kecil. Secara umum, semakin kecil nilai Δ*t* semakin kecil errornya.

Justifikasi pada gerak di mana posisi berubah terhadap waktu secara sinusoidal

Perubahan posisi terhadap waktu secara sinusoidal dijumpai pada gerak harmonis sederhana (misal $x(t) = A \sin \omega t$) dan pada gerak melingkar beraturan, yaitu $x(t) = r \cos \omega t$, $y(t) =$

$r \sin \omega t$. Berikut akan ditunjukkan bahwa model yang diajukan dapat digunakan untuk menganalisis gerak seperti itu dengan persyaratan tertentu. Tanpa mengurangi generalisasinya, berikutnya digunakan persamaan $x(t) = \sin \omega t$ untuk menyatakan bagaimana posisi berubah terhadap waktu.

Kecepatan sesaat pada sebarang t adalah $v(t) = \omega \cos \omega t$, sehingga kecepatan sesaat pada pertengahan waktu dalam interval dari *t* sampai *t* +Δ*t*, yaitu $t_m = t + \Delta t/2$, adalah

$$v(t_m) = \omega \cos \omega \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right).$$

Kecepatan rata-rata dalam interval itu adalah

$$\bar{v} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t)}{\Delta t} = \frac{\sin \omega(t + \Delta t) - \sin \omega t}{\Delta t} = \frac{2 \cos \omega(t + \Delta t/2) \sin(\omega \Delta t/2)}{\Delta t}.$$

(Pada penjabaran persamaan terakhir tersebut telah digunakan identitas fungsi trigonometri: $\sin A - \sin B = 2 \cos 1/2(A + B) \sin 1/2(A - B)$).

Seperti pada pembahasan sebelumnya, beda antara $v(t_m)$ dan $\bar{v}$ tidak lain merupakan error atau ralat yang terjadi jika kecepatan sesaat di pertengahan interval disamakan dengan kecepatan rata-rata dalam interval itu. Besarnya ralat tersebut adalah

$$Error = |v(t_m) - \bar{v}| = \left| \omega - \frac{\sin(\omega \Delta t/2)}{\Delta t} \right| = \omega \left| 1 - \frac{\sin(\omega \Delta t/2)}{\omega \Delta t/2} \right|.$$

Untuk Δ*t*→0,maka $\frac{\sin(\omega \Delta t/2)}{\omega \Delta t/2} = 1$ sehingga error = 0. Selanjutnya, secara operasional akan lebih menguntungkan jika besaran ω*Δt* dinyatakan sebagai pergeseran sudut $\Delta\theta$ (dalam satuan radian) selama interval Δ*t* tersebut. Berikut diberikan sejumlah nilai ralat untuk beberapa nilai $\Delta\theta$ (Tabel 1).

Table 1. Besarnya error, $|v(t_m) - \bar{v}|$, untuk beberapa nilai Δθ

Δθ		sin(Δθ/2):	error
(deg)	(π-rad)	(Δθ/2)	(ω)
90	0.50	0.90	0.10
60	0.33	0.95	0.05
30	0.17	0.99	0.01
20	0.11	0.99	0.01
10	0.06	1.00	0.00
5	0.03	1.00	0.00

Berdasarkan tabel tersebut, jika kesalahan dapat ditoleransi sampai 5% maka interval sudut sampai sebesar 60^o bisa digunakan dengan aman. Jika toleransi yang diizinkan adalah 1%, maka dapat digunakan interval sudut sebesar 30^o.

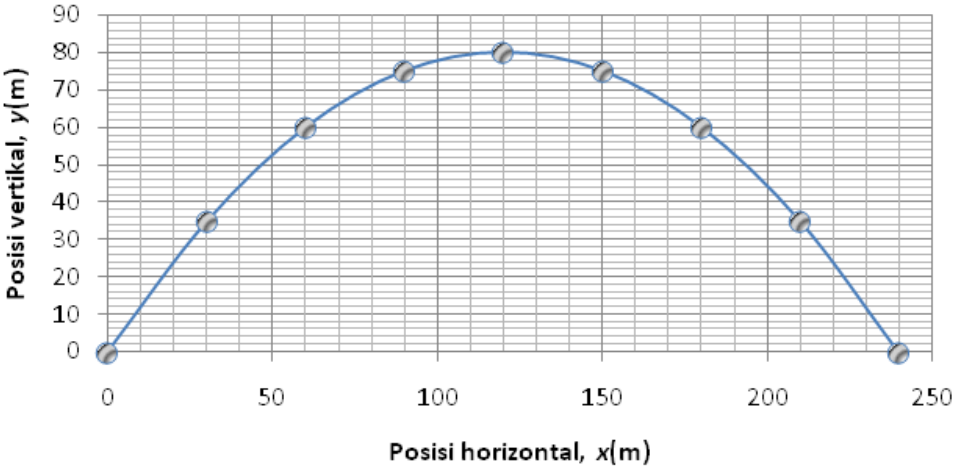
CONTOH PENGGUNAAN

Berikut akan diberikan contoh penggunaan model yang diajukan ini untuk menganalisis gerak dua dimensi yang biasa dibahas di fisika sekolah maupun fisika dasar di universitas; yaitu gerak parabola dan gerak melingkar beraturan.

Gerak parabola

Gambar 1 berikut menyajikan diagram gerak, berupa *multiflash* yang menggambarkan posisi benda yang diambil pada setiap selang waktu tertentu, dalam hal ini setiap satu sekon, pada gerakan bola yang dipukul dengan kecepatan awal 50 m/s dengan sudut elevasi sebesar $\tan^{-1}$ (4/3)

terhadap horizontal. Berdasarkan diagram gerak ini akan dianalisis bagaimana posisi, kecepatan, dan percepatan benda berubah terhadap waktu dengan menggunakan berbagai representasi yang meliputi tabel, grafik, persamaan matematis, dan diagram vektor.



Gambar 1. *Multiflash* gerak parabola. Waktu antara dua posisi berurutan adalah 1s

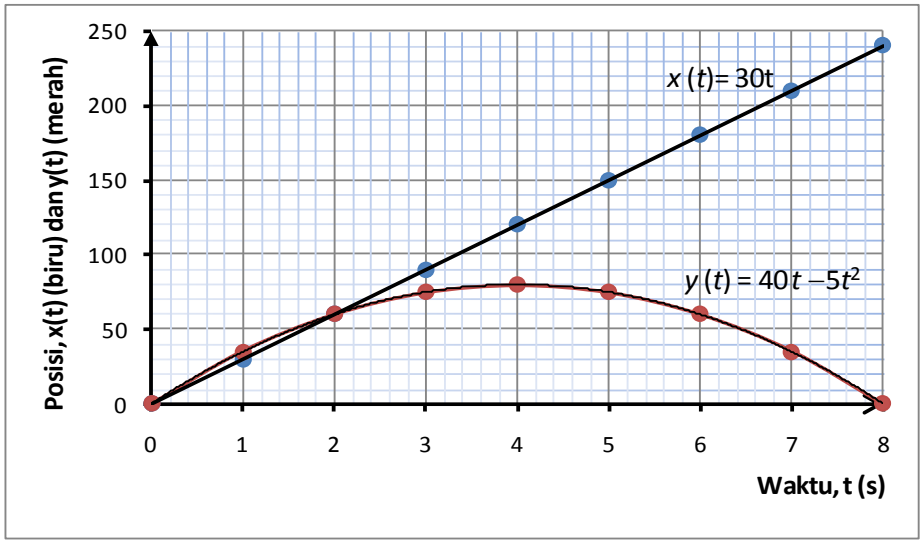
Berdasarkan diagram gerak tersebut dapat diperoleh data posisi terhadap waktu (Tabel 2). Selanjutnya, berdasarkan tabel tersebut dibuat grafik $x(t)$ dan $y(t)$ beserta persamaannya (Gambar 2). Berdasarkan Tabel 2, juga bisa dihasilkan data kecepatan sesaat $v_x(t)$ dan $v_y(t)$ (Tabel 3) dengan menerapkan cara yang telah dirumuskan di depan. Selanjutnya, dari Tabel 3 diperoleh grafik dan persamaan untuk $v_x(t)$ dan $v_y(t)$ sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Table 2. Data posisi, x dan y, sebagai fungsi waktu untuk 9 titik yang ditunjukkan pada Gambar 1

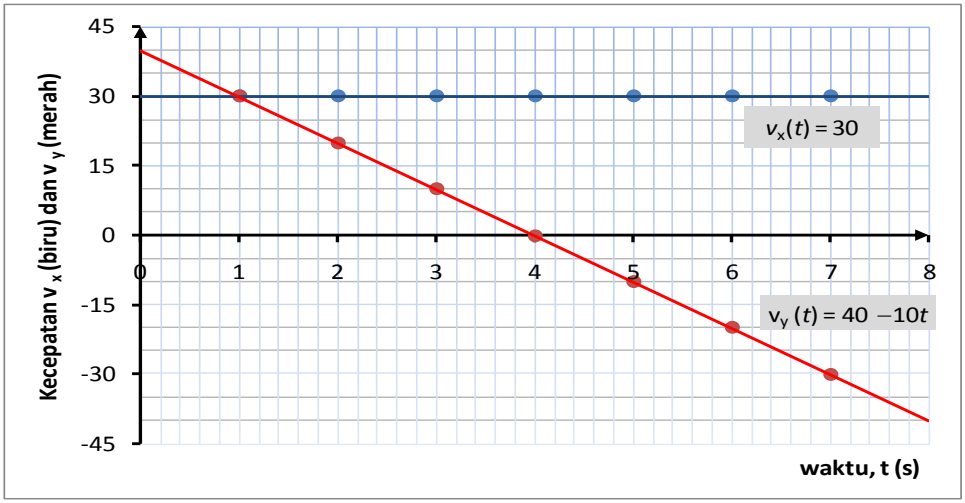
t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
x (m)	0	30	60	90	120	150	180	210	240
y (m)	0	35	60	75	80	75	60	35	0

Table 3. Data kecepatan v_x (t) dan v_y (t) yang diperoleh dari pengolahan data di Table 2

Interval t	t_m (s)	$\bar{v}_x$ (m/s)	$v_x(t = t_m)$ (m/s)	$\bar{v}_y$ (m/s)	$v_y(t = t_m)$ (m/s)
[0,2]	1	30	30	30	30
[1,3]	2	30	30	20	20
[2,4]	3	30	30	10	10
[3,5]	4	30	30	0	0
[4,6]	5	30	30	-10	-10
[5,7]	6	30	30	-20	-20
[6,8]	7	30	30	-30	-30



Gambar 2. Grafik $x(t)$ dan $y(t)$ berdasarkan Tabel 2.



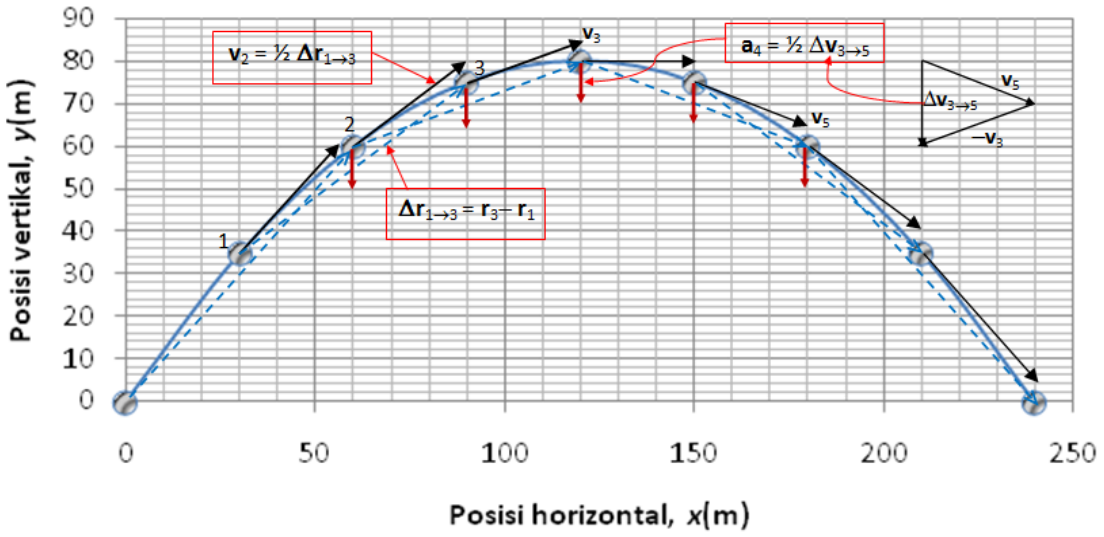
Gambar 3. Grafik $v_x(t)$ dan $v_y(t)$ berdasarkan data pada Tabel 3.

Analisis lanjutan terhadap Tabel 3 dapat dihasilkan data komponen percepatan a_x dan a_y pada berbagai saat (titik). Prosedurnya sama dengan cara menemukan kecepatan sesaat di pertengahan waktu berdasarkan kecepatan rata-rata dalam interval waktu yang bersangkutan. Yaitu, percepatan sesaat di pertengahan interval sama dengan percepatan rata-rata dalam interval itu. Hasilnya dengan mudah dapat diperoleh dari Tabel 3, yaitu $a_x = 0$ dan $a_y = -10$ m/s^2.

Menarik untuk dicatat bahwa keseluruhan hasil analisis tersebut saling konsisten satu dengan lainnya. Sebagai misal, dari grafik $x(t)$ dan $y(t)$ diperoleh fungsi $x(t) = 30t$ dan $y(t) = 40t - 5t^2$. Derivatif pertama terhadap waktu menghasilkan $v_x(t) = 30$ dan $v_y(t) = 40 - 10t$, sama persis dengan persamaan yang dihasilkan melalui grafik kecepatan terhadap waktu (Gambar 3). Secara keseluruhan, hasil tersebut sama persis dengan rumusan eksak gerak benda. Seperti telah disebutkan, Gambar 1 adalah gerak parabola dengan kecepatan awal 50 m/s dengan sudut elevasi sebesar $\tan^{-1}(4/3)$. Secara tradisional, problem itu biasanya dipecahkan dengan merumuskan gerak ke arah horizontal (gerak lurus dengan kecepatan konstan $v_x = v_0 \cos\theta = 50\times3/5 = 30$ m/s, sehingga $x(t)$

= 30t m) dan gerak pada arah vertikal (gerak lurus dipercepat dengan kecepatan awal $v_{y0} = v_0 \sin\theta$ = 50×4/5 = 40 m/s, dan percepatan $\mathbf{a} = \mathbf{g} = -10$ m/s^2, sehingga $y(t) = 40t - 5t^2$ m).

Model analisis tersebut juga dapat digunakan untuk menemukan vektor posisi, kecepatan, dan percepatan secara diagram seperti disajikan pada Gambar 4.

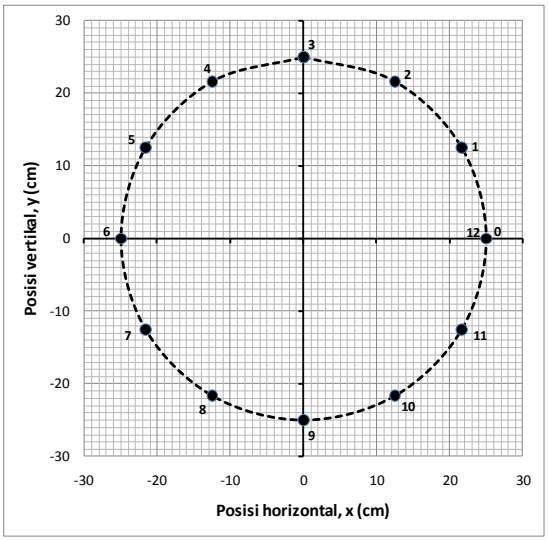


Gambar 4. Diagram vektor kecepatan sesaat (panah hitam menyinggung lintasan) dan percepatan sesaat (panah merah, ke arah bawah) di sejumlah posisi pada gerak parabola. Contoh diagram untuk menemukan vektor kecepatan (misalnya $\mathbf{v}_2$) berdasarkan kecepatan rata-rata pada selang t =1s ke t = 3s, yaitu $\mathbf{v}_2 = \bar{\mathbf{v}}_{1\to3} = \Delta\mathbf{r}_{1\to3}/2$ dan vektor percepatan (misalnya $\mathbf{a}_4$) berdasarkan kecepatan rata-rata dari t = 3s ke t = 5s, yaitu $\mathbf{a}_4 = \bar{\mathbf{a}}_{3\to5} = \Delta\mathbf{v}_{3\to5}/2$ juga ditunjukkan. Panah putus-putus yang menghubungkan dua titik yang berselingan menyatakan vektor pergeseran selama interval waktu yang bersangkutan.

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa metode yang diusulkan ini dapat menunjukkan beberapa aspek penting dalam kinematika, khususnya pada gerak parabola, sebagai berikut. (1) Bahwa kecepatan sesaat selalu menyinggung lintasan dan besarnya berubah-ubah dari satu titik ke titik lain. Adalah sangat sulit memfasilitasi siswa untuk menemukan sendiri konsep penting tersebut tanpa menggunakan model yang diusulkan ini. (2) Percepatan selalu konstan, baik besar maupun arahnya. Dari gambar terlihat bahwa besarnya percepatan tersebut adalah 10 m/s^2 dan arahnya tepat ke bawah. Hasil ini sangat konsisten dengan analisis secara grafik sebagaimana telah ditunjukkan sebelumnya. Konsep penting ini juga sangat sulit ditemukan siswa secara induktif dengan pembelajaran yang ada selama ini. Biasanya, pembahasan gerak parabola dilakukan berdasarkan tinjauan dinamika di mana benda hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi, sehingga gerak horizontal berupa GLB dan gerak vertikal berupa GLBB dengan $\mathbf{a} = \mathbf{g}$.

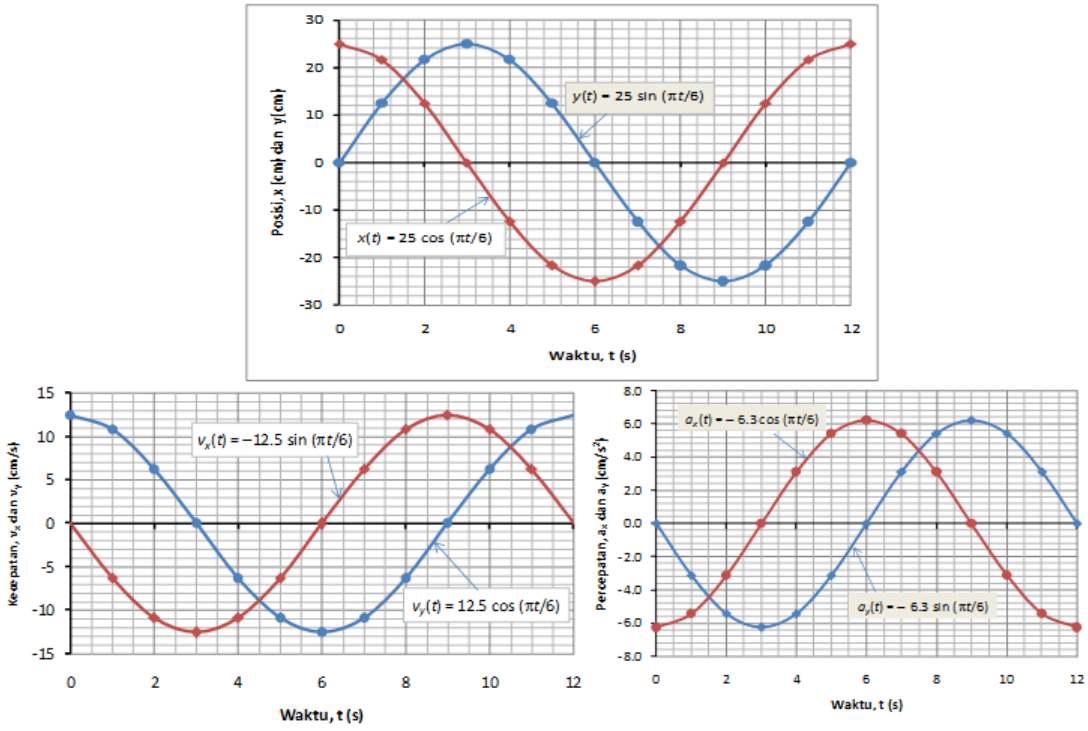
Gerak Melingkar Beraturan

Berikut akan diterapkan model analisis yang diajukan ini untuk menganalisis *multiflash* gerak melingkar beraturan dengan kelajuan sudut sebesar $\omega = \pi/6$ rad/s dan jari-jari lintasan 25 cm (Gambar 5). Berdasarkan diagram tersebut dapat dijelaskan bagaimana posisi, kecepatan, dan percepatan berubah terhadap waktu dengan menggunakan berbagai macam representasi, yaitu tabel, grafik, persamaan, dan diagram vektor. Namun demikian, karena keterbatasan ruang, berikut hanya disajikan hasilnya saja. Tabel-tabel yang dihasilkan juga tidak disajikan.



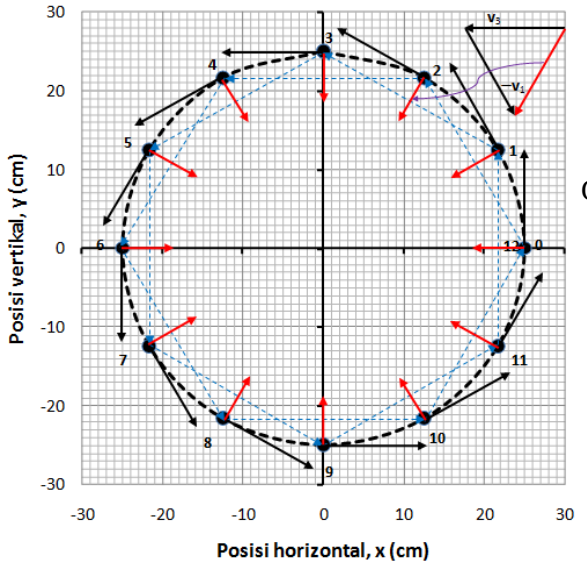
Gambar 5. *Multiflash* gerak melingkar beraturan. Titik-titik pada gambar diambil setiap sekon selama satu putaran penuh. Angka-angka yang menyertai setiap titik menyatakan waktu t ketika benda di titik tersebut. Titik 0 dan 12 berimpit, menunjukkan bahwa periode putaran adalah 12 s.

Berdasarkan diagram gerak tersebut dapat dibuat tabel posisi terhadap waktu, $x(t)$ dan $y(t)$. Selanjutnya, dari tabel yang dihasilkan dapat dibuat tabel baru tentang kecepatan sesaat $v_x(t)$ dan $v_y(t)$ dengan menggunakan pendekatan, "kecepatan sesaat di pertengahan interval sama dengan kecepatan rata-rata dalam interval itu". Untuk sementara, interval waktu yang digunakan adalah setiap dua sekon. Misalnya antara t = 0 s dan t = 2 s, dst. Berikutnya, dari tabel kecepatan dapat dihasilkan tabel percepatan dengan menggunakan pendekatan serupa. Berdasarkan tabel-tabel yang dihasilkan kemudian dibuat grafik dan persamaan (fungsi) yang paling cocok dengan grafik yang dihasilkan (Gambar 6).



Gambar 6. Atas: grafik $x(t)$ dan $y(t)$. Bawah, kiri: grafik $v_x(t)$ dan $v_y(t)$ beserta fungsinya, kanan: grafik $a_x(t)$ dan $a_y(t)$ beserta fungsinya.

Selain menghasilkan grafik dan persamaan, dengan menerapkan model yang diajukan ini langsung pada diagram gerak, dapat diperoleh vektor kecepatan dan percepatan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Vektor kecepatan (panah hitam menyinggung lingkaran) dan percepatan (panah merah ke arah pusat lingkaran). Panah putus-putus yang menghubungkan dua titik berselingan menyatakan vektor pergeseran yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan kecepatan sesaat di titik pertengahan. Contoh diagram untuk mendapatkan percepatan ($\mathbf{a}_2$) juga ditunjukkan.

Berdasarkan gambar tersebut dapat dinyatakan bahwa besar kecepatan benda selalu tetap tetapi arahnya selalu berubah, sedangkan percepatannya selalu menuju pusat (sentripetal) dengan nilai konstan. Besar kecepatan dan percepatan secara berurutan adalah sekitar 12,5 cm/s dan 6,3 cm/s^2. Hasil ini cocok dengan persamaan kecepatan dan percepatan yang dihasilkan secara grafik (Gambar 6). Persamaan kecepatan dan percepatan tersebut juga sangat dekat dengan yang diperoleh secara kalkulus, misalnya $v_x(t) = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t = -13{,}0\ \sin(\pi t/6)$, dan $a_x(t) = \mathrm{d}v_x/\mathrm{d}t = -\ 6{,}9\ \cos(\pi t/6)$. Error untuk $v \approx 4\%$ sedangkan untuk $a \approx 9\%$. Error ini bisa diperkecil dengan menggunakan dua titik secara berurutan ($\Delta\theta = 30^o$), bukan dua titik yang berselingan ($\Delta\theta = 60^o$) sebagaimana telah digunakan di depan. Jika ini dilakukan, diperoleh persamaan $v_x(t) = -12{,}9\ \sin(\pi t/6)$, dan $a_x(t) = -6{,}7\ \cos(\pi t/6)$, sehingga error untuk $v \approx 1\%$ dan untuk $a \approx 3\%$. Analisis bisa dilanjutkan untuk menemukan $a = v^2/R$, sebab $6{,}7 \approx (12{,}9)^2/25$.

Jika dibandingkan dengan persamaan yang seharusnya (yang didapatkan secara analitis), yaitu $x(t) = 25\ \cos\ (\pi t/6)$ sehingga $v_x(t) = -25\pi/6\ \sin(\pi t/6) = 13{,}09\ \sin(\pi t/6)$ dan $a_x(t) = -6{,}85\ \cos(\pi t/6)$; serta $y(t) = 25\ \sin\ (\pi t/6)$ sehingga $v_y(t) = -25\pi/6\ \cos(\pi t/6) = 13{,}09\ \sin(\pi t/6)$ dan $a_y(t) = -6{,}85\ \sin(\pi t/6)$, maka hasil terakhir sudah sangat mendekati. Kesalahan memang sulit dihindari mengingat adanya pembulatan bilangan π serta pengukuran x dan y yang hanya bisa dilakukan sampai satu angka di belakang koma. Namun demikian, analisis secara diagram (Gambar 7) sudah sangat memadai untuk menjelaskan besaran-besaran kinematika gerak melingkar.

PENUTUP

Telah ditunjukkan bahwa penerapan metode analisis diagram gerak (berupa *multiflash* posisi benda pada sederatan waktu) dapat digunakan untuk menjelaskan bagaimana posisi, kecepatan, dan percepatan benda berubah terhadap waktu, tanpa menggunakan kalkulus secara formal. Penerapan pada gerak parabola dan gerak melingkar dapat menjelaskan semua aspek kinematika gerak tersebut dengan berbagai ragam representasi (meliputi tabel, grafik, persamaan, dan diagram) yang saling mendukung/ melengkapi. Dengan cara tersebut dimungkinkan siswa bisa menemukan sendiri secara induktif konsep-konsep penting gerak yang dibahas. Pemahaman siswa tentang posisi, kecepatan, dan percepatan, termasuk sifat kevektoran dan keterkaitan antar besaran-besaran tersebut akan lebih kuat dan utuh. Dengan pengarahan secukupnya, siswa juga dapat menemukan sendiri bahwa percepatan tidak selalu berarti penambahan kelajuan (percepatan) atau pengurangan kelajuan (perlambatan) saja, melainkan bisa hanya mengubah arah tanpa mengubah besar kecepatan seperti pada gerak melingkar beraturan, atau mengubah kedua-duanya seperti pada gerak parabola. Siswa juga bisa diarahkan untuk

menemukan sendiri apa makna posisi negatif, kecepatan negatif, dan percepatan negatif pada gerak satu dimensi. Sering terjadi miskonsepsi yang memaknai percepatan negatif sebagai perlambatan.

Sebagaimana telah dinyatakan di depan, cara tersebut telah berhasil dicobakan pada perkuliahan Kapita Fisika Sekolah di prodi Pendidikan Fisika FMIPA UM. Penulis berkeyakinan bahwa cara yang diusulkan ini cukup mudah untuk dapat dikerjakan oleh SMA, terutama cara diagram. Kemampuan prasyarat yang diperlukan cukup pengurangan vektor. Perlu disampaikan bahwa kesulitan operasi vektor pada kinematika pada umumnya lebih banyak disebabkan oleh kurang dipahaminya konsep perpindahan dan perubahan kecepatan, bukan karena lemahnya kemampuan memanipulasi vektor. Sebagai salah satu bukti, pada awal pembelajaran ini mahasiswa cenderung tidak punya ide menentukan vektor kecepatan (walaupun itu kecepatan rata-rata) antar dua posisi pada diagram gerak meskipun mereka sudah terampil menjumlahkan/mengurangkan vektor (yang tidak dikaitkan dengan konsep gerak). Namun, jika siswa sudah bisa mengoperasionalkan pengolah data seperti Excel, maka akan lebih baik jika siswa diminta bekerja sekaligus dengan grafik.

DAFTAR RUJUKAN

Giancoli, D. C. (2005). *Physics: Principles with applications*, 6th ed. New Jersey: Pearson Educalion

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys*., 66 (1), 64-74.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2011). *Fundamentals of physics*, 9th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc

Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). Common Sense Concepts about Motion. *Am. J. Phys*. 53(11), 1056-1065

Reif, F. & Allen, S. (1992). Cognition for interpreting scientific concepts: A study of acceleration. *Cognition and Instruction,* 9(1), 1-44

Rosenblatt, R. & Heckler, A. F. (2011). Systematic study of student understanding of the relationships between the directions of force, velocity, and acceleration in one dimension. *Phys. Rev. St Phys. Educ. Res.,* **7,** 020112.

Sadaghiani, H. R. (2012). Controlled study on the effectiveness of multimedia learning modules for teaching mechanics. *Phys. Rev. St Phys. Educ. Res.,* **8,** 010103

Sayre, E.C. et al. (2012). Learning, retention, and forgetting of Newton's third law throughout university physics. *Phys. Rev. St Phys. Educ. Res.,* **8,** 010116

Serway, R., A. & Jewett Jr., J., W. (2010). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Eighth Edition*, 8th ed. Belmont, CA: Brooks/Cole

Shaffer, P.S. and McDermott, L.C. 2005. A research–based approach to improving students understanding of vector nature of kinematical concepts. *Am. J. Phys*., 73(10), 921-931.

Singh, C., & Schunn, C.D. (2009). Connecting three pivotal concepts in K-12 science state standards and maps of conceptual growth to research in physics education. *J. Phys. Tchr. Educ. Online*, 5(2), 16-42

Sutopo, Liliasari, Waldrip, B., & Rusdiana, D. 2011. *The prospective physics teachers' prior knowledge of acceleration and the alternative teaching strategy for better learning outcome*. Paper presented on National Seminar of Science Education, Unesa, Surabaya: December 10.

Thornton, R. K. & Sokoloff, D. R. 1998. Assessing student learning of Newton's laws: The force and motion conceptual evaluation and the evaluation of active learning laboratory and lecture curricula. *Am. J. Phys.*, 66 (4), 338-352

Waldrip, B., Prain, V. & Sellings, P. (2012). Explaining Newton's laws of motion: Using student reasoning through representations to develop conceptual understanding. *Instructional Science (online, March)*

Young, H., D. & Freedman, R. A. (2008). *Sears and Zemansky's university physics with modern physics*, 12th ed. San Francisco, CA: Pearson Addison-Wesley