

KAJIAN BIOMEKANIKA MODEL MATEMATIS

TARI GANDRUNG BANYUWANGI

(Biomechanical Study of Mathematical Model of Gandrung Dance Banyuwangi)

Nurida Finahari^{1*} dan Gatut Rubiono²**ABSTRACT**

Gandrung dance Banyuwangi is a traditional dance that has dynamic motion characteristics. This dance has a variety of body movements that require expertise and adequate physical condition of the dancer for dancer's performance. Dance biomechanics studies in Indonesia have not been done much, especially when viewed in terms of mechanical forces. The Gandrung dance has similar movements with Ballet dance when referring to the position of the feet and hands. The study of Gandrung dance mechanical forces can be analogous to the study of Ballet dance. This article shows the logical frame of preparing the Gandrung dance Banyuwangi mathematical model as a form of biomechanical study. The mathematical model is constructed based on assumption that the Gandrung dance has a motion that bases the body weight on the front footprints ("jinjid" position). This will result in a change in body balance due to the floor surface reaction force as a form of action forces that lead to the dancer's body. Modeling is only done for the position of the 'ngeber' and 'pundakan' positions, the two positions that are found in the Gandrung Banyuwangi dance. Mathematical models are prepared using the principle of force balance which refers to Newton's second law. Reaction forces that occur next are arranged in a mathematical equation as a general equation that describes the biomechanical burden of the Banyuwangi Gandrung dance experienced by the dancer's body. Analysis is still based on nstantaneously static conditions.

Keywords: *Biomechanics, Statical Forces, Gandrung Dance, Banyuwangi, Dancer's Body Weight*

PENDAHULUAN

Seni tari merupakan bagian seni gerak (*movement art*) yang termasuk dalam kajian ilmu keolahragaan. Obyek kajian ini relatif kompleks karena mengandung dimensi biologis, psikologis, budaya, dan antropologis (Sugiyanto, 2012). Gerak makhluk hidup dapat dikaji dengan penerapan ilmu biomekanika yaitu ilmu yang mempelajari gaya internal dan gaya

^{1,2} Prodi S1 Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang, Malang, Indonesia

*Corresponding author:

nfinahari@widyagama.ac.id

eksternal serta efek gaya-gaya tersebut terhadap tubuh manusia (Ilham & Yusuf, 2012). Kajian gerak makhluk hidup dilakukan dengan menerapkan teori-teori dan hukum-hukum tentang gerak yaitu hukum-hukum Newton.

Tari adalah karya cipta budaya yang dapat diaplikasikan sebagai kegiatan olahraga, memiliki unsur seni gerak dan latihan pernafasan (Riyanta dkk, 2010). Sendi-sendi tubuh manusia dan gerakannya menjadi dasar analisis biomekanika (Koutedakis dkk, 2008). Aspek biomekanika dalam seni tari bermanfaat untuk meningkatkan performansi lompatan tari klasik (Koutedakis dkk, 2008; Kalichova, 2011), mempelajari dan menjelaskan secara tepat cara seorang penari dalam melakukan gerakannya (Krasnow dkk, 2011), membantu proses pembelajaran dan pengembangan tari (Wilson, 2009), dan pencegahan resiko cedera (Volkerding & Ketcham, 2013).

Aplikasi biomekanika pada tari dapat dilakukan dengan beberapa teknik yaitu penangkapan gerak (*motion capture*), elektromiografi (*electromyography*), dinamografi (*dynamography*), dan dinamometri (*dynamometry*) (Koutedakis dkk, 2008). Metode *motion capture* dilakukan dengan memasang penanda (*markers*) pada bagian-bagian tubuh subyek penelitian (Kalichova, 2011). Acuan umum yang digunakan adalah pemasangan tiga buah penanda untuk tiap bagian rangka dimana dua buah penanda digunakan untuk menentukan lokasi relatif pusat sendi dan satu penanda diletakkan di antaranya (Volkerding & Ketcham, 2013). Eksperimen dilakukan dengan pengamatan menggunakan kamera kecepatan tinggi (*high speed camera*) dan rantai pengukuran gaya reaksi (*ground reaction forces*) untuk analisis aspek kinematika dan kinetika penari (Payton & Bartlett, 2008).

Untuk memudahkan analisis maka dibuat sebuah pendekatan dengan pemodelan sistem menjadi bentuk yang relatif lebih sederhana. Misalnya, sistem muskuloskeletal tangan dan lengan manusia dapat dianggap sebagai suatu sistem mekanik dimana otot berfungsi sebagai penggerak tulang pada sendinya (Ilham & Yusuf, 2012). Model matematika dapat diaplikasikan untuk penyusunan lintasan pusat massa (*center of weight - CW*) dari batang-batang penghubung kaki yang digunakan dalam kerja kaki, tulang kering, pinggul, bahu, lengan, dan tangan (Batieieva & Kyzim, 2016). Secara umum, sistem kerangka tubuh manusia telah dimodelkan oleh Wang dkk (2014).

Penelitian biomekanika di bidang tari antara lain difokuskan pada aspek kinematika untuk beban dinamik lebih pada penari profesional (Dworak, 2005), biomekanika penari balet umum dan penari dengan gangguan *apofisis iskial* (Pohjola dkk, 2014), kualitas gerakan

penari perempuan (McCarty dkk, 2017), kontrol ritmis gerakan tari perut (*belly dance*) (Nugent & Milner, 2017), abduksi kaki saat posisi berdiri dan gerak putar (Carter dkk, 2019), penari balet pemula dalam posisi *pointe* (Glumm, 2017), analisis kinematika penari balet dengan model kaki *Rizzoli* (Carter dkk, 2018), kontrol keseimbangan posisi-posisi dalam tari balet (Huh, 2016), dan analisis derajat rotasi pinggang untuk tari balet klasik (Natalia dkk, 2017).

Penelitian juga difokuskan untuk perbandingan antara penari dan bukan penari dari segi pendaratan saat gerak tari melompat dengan dan tanpa penglihatan (Payton & Bartlett, 2008), pendaratan saat lompatan jatuh vertikal berkaki tunggal (Hansberger dkk, 2018), dan perilaku motorik saat posisi ekstrem (Tepla dkk, 2014). Perbandingan juga dilakukan untuk parameter kebugaran penari balet pemula, semi-profesional dan profesional (Ochoa, 2016), dan perbedaan kinetik biomekanika antara kelompok percobaan yang berhasil dan yang tidak berhasil dalam gerakan *pirouette triple turn* (Kim, 2018). Fokus penelitian juga dilakukan untuk perbandingan pengaruh material lantai (Hopper, 2011), kemiringan lantai (Pappas dkk, 2012), dan kondisi sepatu balet (Aquino & Amasay, 2019).

Tari Gandrung adalah salah satu lambang sisa perkembangan seni budaya kehidupan jaman kekeratonan Blambangan (Sejati, 2012) dan menjadi salah satu daya tarik wisata kabupaten Banyuwangi (Suharti, 2012). Tari ini memiliki karakteristik perpaduan gerak yang dinamis dengan iringan suara instrumen yang beragam dan rancak (Damaitu dkk, 2013). Gerak umum tari Gandrung Menumpukan berat badan di ujung kaki bagian depan (posisi *jinjid*), gerak tubuh ke arah depan, gerak sendi leher dan gerak-gerak lainnya (Suharti, 2012).

Beberapa penelitian gerak tari tradisional Indonesia telah dilakukan, yaitu antara lain rekonstruksi tari Remo Rawi Jombang agar lebih memiliki kesan yang menarik tetapi tetap mempertahankan esensinya (Sari & Wahyudi, 2017), aplikasi teknik fotografi *long exposure* dalam visualisasi makna gerakan tari Ketuk Tilu (Putri, 2014), aspek kinestetik tari Rantaya I Putra Alus Surakarta (Astuti, 2014), dan deskripsi unsur tenaga, ruang dan waktu pada gerak tari *Seudati* (Lena dkk, 2018). Penelitian lain dilakukan untuk analisis kuantitatif gerakan kaki dan sinyal EMG dua penari tradisional Jepang gaya *Hanayagi* dengan lama pengalaman yang berbeda (Choi dkk, 2009).

Penyusunan model matematis gerak atau posisi tari tradisional Indonesia berdasarkan penelusuran publikasi ilmiah belum dilakukan. Di luar negeri, Balet merupakan salah satu jenis tari klasik yang banyak dikaji, termasuk aspek biomekanikanya. Dalam hal ini, tumpuan

pada tapak kaki bagian depan (*jinjid*) pada posisi tari Gandrung memiliki kesamaan dengan posisi-posisi penari Balet (posisi *pointe*). Hal ini menunjukkan bahwa gerak tari Gandrung yang dinamis merupakan topik kajian menarik, yang aspek biomekanika maupun pemodelannya bisa diacukan pada tari Balet. Artikel ini bertujuan untuk menunjukkan alur pikir penyusunan model matematis tari Gandrung Banyuwangi sebagai bentuk kajian biomekanika tari tradisional.

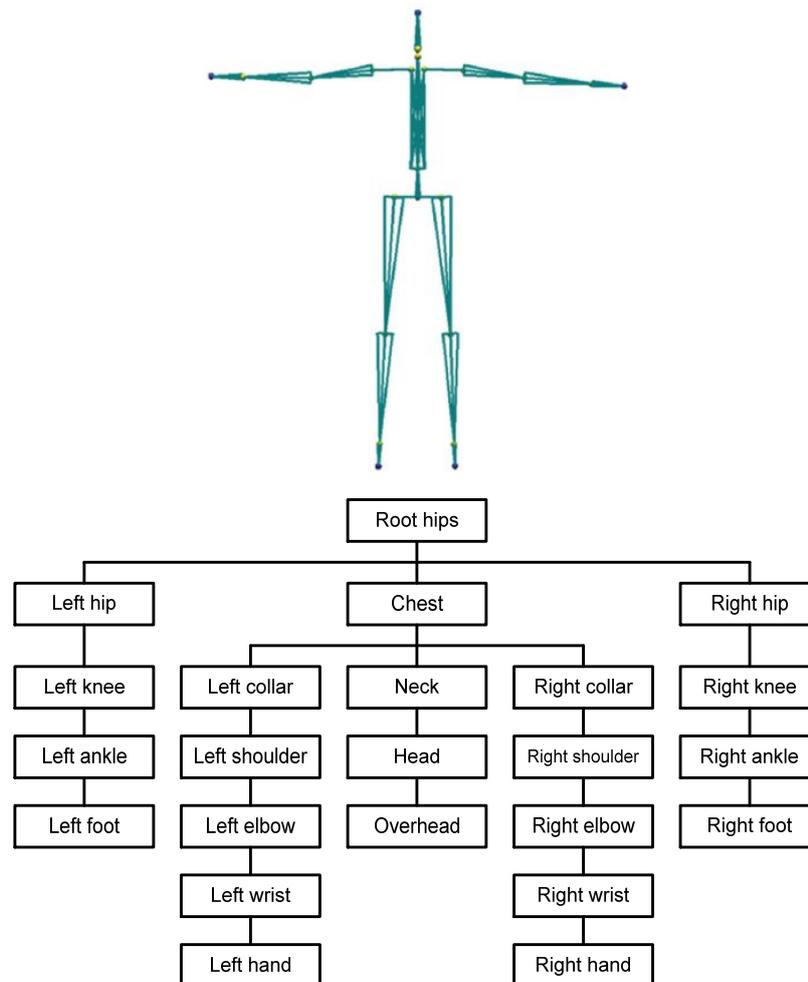
BAHAN DAN METODE

Tari Gandrung ditemukan memiliki dua posisi gerak yang banyak dilakukan yaitu posisi *ngeber* dan *pundakan*. Pada posisi itu penari bertumpu di ujung telapak kaki dengan posisi tubuh menekuk (tidak tegak). Model matematis yang akan disusun diacukan pada dua posisi tarian yang relatif rumit ini. Penyusunan model matematis menggunakan prinsip keseimbangan gaya yang mengacu pada hukum kedua Newton. Gaya-gaya reaksi yang terjadi selanjutnya disusun dalam sebuah persamaan matematis sebagai persamaan umum yang menggambarkan aspek biomekanika tari Gandrung Banyuwangi. Pemodelan kerangka tubuh penari menggunakan pemodelan menurut Wang dkk (2014) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Posisi *ngeber* dan *pundakan* ditunjukkan pada Gambar 2. Analisis gaya dilakukan untuk kondisi statis sesaat dimana gerakan tari secara keseluruhan dianggap sebagai rangkaian posisi statis yang berurutan dalam domain waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pemodelan matematis dimulai dengan menyusun gambar skematis rangka tubuh penari saat melakukan gerak *ngeber* dan *pundakan*, mengacu pada Gambar 2. Pada gambar tersebut tampak bahwa gerak *ngeber* menunjukkan posisi tubuh di atas pinggul terletak pada satu bidang datar sehingga dapat dianalisis menggunakan sistem sumbu 2D arah frontal yaitu bidang yang membagi tubuh menjadi depan belakang seperti ditunjukkan pada gambar 3 (Tortora, 2005). Untuk anggota tubuh di bawah pinggul tampak bahwa paha membentuk sudut terhadap sumbu tulang belakang dan tungkai di bawah paha berbeda posisi untuk kaki kiri dan kanan. Kedua kaki membentuk urutan langkah berjalan, dimana kaki yang digunakan untuk melangkah berposisi *jinjid*, bertumpu pada jari-jari. Analisis tubuh bagian bawah untuk posisi *ngeber* dilakukan dalam sistem sumbu 2D mengikuti bidang mid-sagital (bidang pembagi tubuh menjadi kiri dan kanan). Posisi *pundakan* bisa dimodelkan sebagai kajian

gaya dalam sumbu 2D dengan asumsi bahwa posisi tangan kiri dan kanan identik. Kajian difokuskan pada sumbu arah bidang mid-sagital. Skema sistem rangka hasil pemodelan ditampilkan di Gambar 4 dan 5.



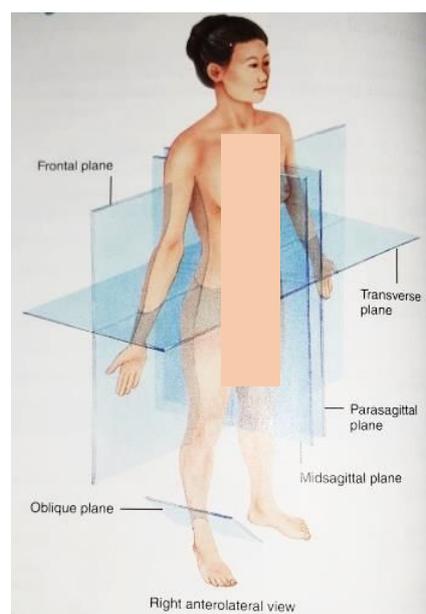
Gambar 1. Model Rangka Tubuh Manusia Menurut Wang et al. (Wang dkk, 2014)

Dari diagram skematis pada gambar 4 dan 5, selanjutnya dianalisis gaya-gaya yang bekerja pada titik-titik tumpuan tubuh. Dalam hal ini diambil 5 titik tumpuan, yaitu pangkal leher (S1), tumpuan bahu (S2 dan S3), tumpuan panggul (H1 dan H2), serta tumpuan kaki (L1 dan L2). Titik tumpuan tersebut dianalisis urut dari atas ke bawah, yaitu kelompok titik tumpuan S, H, dan terakhir L. Titik tumpuan S1 hanya akan mengakomodasi beban dari

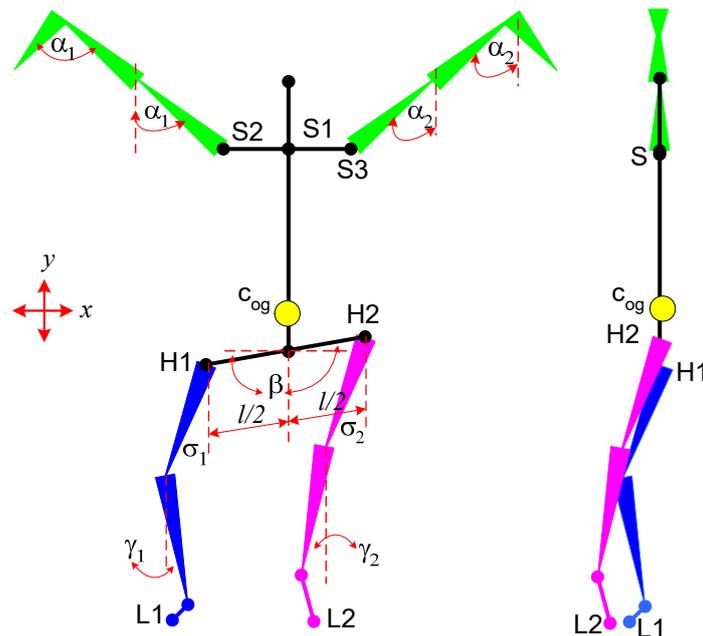
kepala. Tumpuan S2 dan S2 dipandang sebagai tumpuan gelagar dengan beban kepala dan lengan. Kelompok tumpuan H mengakomodasi beban dari area tubuh di atasnya melalui gaya reaksi pada S1, S2, dan beban tubuh di antara kelompok tumpuan S dan H. Tumpuan L mengakomodasi beban seluruh tubuh melalui gaya-gaya reaksi pada kelompok tumpuan H dan area kaki di bawahnya. Mengingat kondisi statis yang diacu hanya terjadi dalam jangka waktu yang relatif singkat pada rentang periode tarian, perubahan titik berat tubuh dianggap tidak terlalu jauh pergeserannya dan tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan momen. Gaya-gaya yang bekerja pada sistem rangka ditampilkan pada Gambar 6 dan 7.



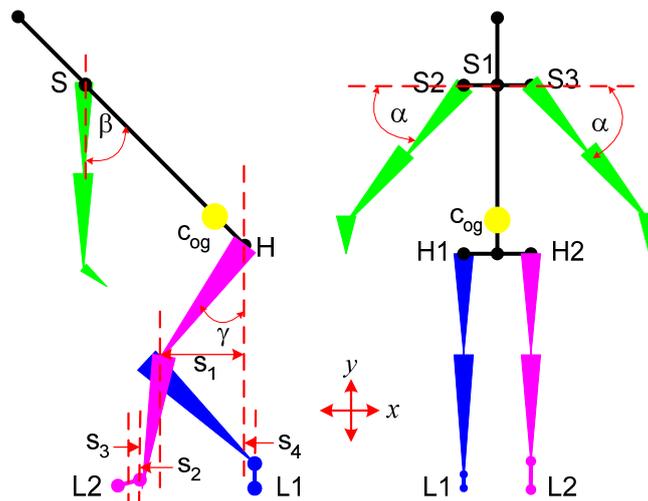
Gambar 2. Posisi *Ngeber* (Gambar Kiri), dan *Pundakan* (Gambar Kanan) (Rini, 2016)



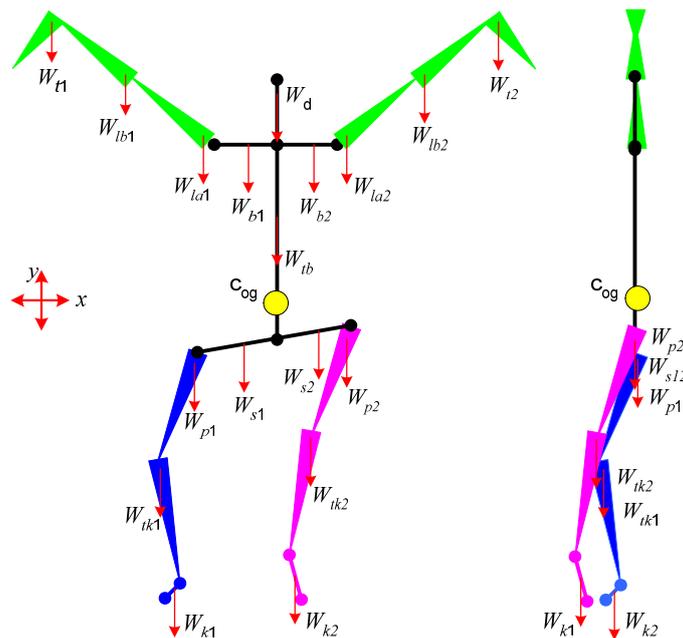
Gambar 3. Sistem Sumbu Tubuh (Tortora, 2005)



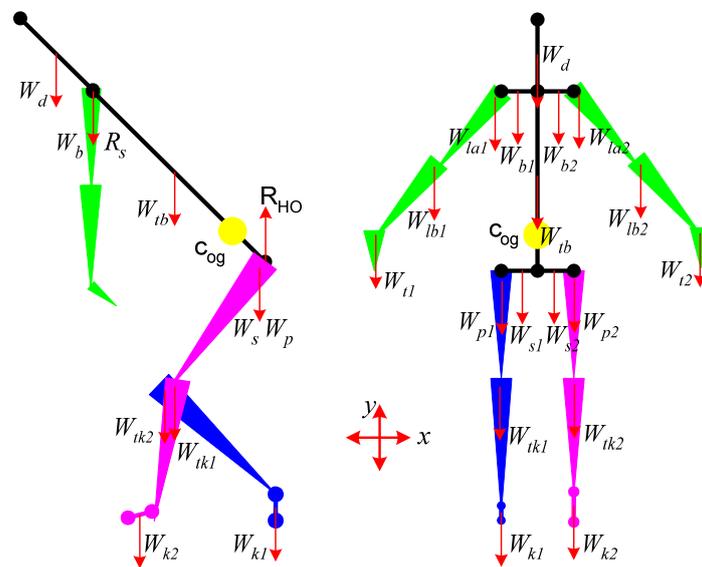
Gambar 4. Diagram Skematis Kerangka Tubuh Penari Gandrung Posisi *Ngeber*
(Kiri: Sumbu 2D Bidang Frontal, Kanan: Sumbu 2D Bidang Mid-Sagital)



Gambar 5. Diagram Skematis Kerangka Tubuh Penari Gandrung Posisi *Pundakan*
(Kiri: Sumbu 2D Bidang Mid-Sagital, Kanan: Sumbu 2D Bidang Frontal)



Gambar 6. Diagram Skematis Gaya-Gaya Yang Bekerja Pada Kerangka Tubuh Penari Gandrung Posisi *Ngeber*



Gambar 7. Diagram Skematis Gaya-Gaya Yang Bekerja pada Kerangka Tubuh Penari Gandrung Posisi *Pundakan*

Dengan menggunakan prinsip keseimbangan linier dan momen, dan mengacu pada simbol-simbol dalam Gambar 4-7 (arti simbol didefinisikan dalam nomenklatur pada bagian akhir artikel ini), diperoleh model matematis reaksi-reaksi tumpuan sebagai berikut:

Model Matematis Posisi Ngeber

Gaya reaksi tumpuan S (garis bahu) didapatkan sebagai:

$$R_{s2} = (W_{t1} + W_{lb1} + W_{la1}) \cos \alpha_1 \quad (1)$$

$$R_{s3} = (W_{t2} + W_{lb2} + W_{la2}) \cos \alpha_2 \quad (2)$$

Beban tubuh di atas panggul dihitung :

$$W_{ta} = \sum W_t + \sum W_{lb} + \sum W_{la} + \sum W_b + W_{tb} + W_d \quad (3)$$

Gaya reaksi tumpuan H (garis panggul) diperoleh sebagai :

$$R_{H1} = \frac{1}{4} \cos \beta \cos \sigma_1 (4W_{p2} + 6W_{s2} + 2W_{ta} + W_{s1}) \quad (4)$$

$$R_{H2} = \frac{1}{4} \cos \beta \cos \sigma_2 (4W_{p1} + 6W_{s1} + 2W_{ta} + W_{s2}) \quad (5)$$

Gaya reaksi tumpuan L (ujung kaki) diperoleh sebagai :

$$R_{L1} = (W_{tk1} + R_{H1} \cos \sigma_1) \cos \gamma_1 - W_{k1} \quad (6)$$

$$R_{L2} = (W_{tk2} - R_{H2} \cos \sigma_2) \cos \gamma_2 - W_{k2} \quad (7)$$

Model Matematis Posisi Pundakan

Gaya reaksi tumpuan S (garis bahu) didapatkan sebagai:

$$R_{s2} = (W_{t1} + W_{lb1} + W_{la1}) \cos \alpha_1 \quad (8)$$

$$R_{s3} = (W_{t2} + W_{lb2} + W_{la2}) \cos \alpha_2 \quad (9)$$

Gaya reaksi titik tengah panggul dihitung :

$$R_{Ho} = (W_d - \sum R_s \cdot \cos \beta + \sum W_b + W_{tb} \cos \gamma) \quad (10)$$

Gaya reaksi tumpuan H (garis panggul) diperoleh sebagai :

$$R_{Ho} = (W_d - \sum R_s \cdot \cos \beta + \sum W_b + W_{tb} \cos \gamma) \quad (11)$$

$$R_{H2} = \frac{1}{4} \cos \gamma (2R_{Ho} \cos \beta - 3W_{s1} - 4W_{p2} - 2W_{s2}) \quad (12)$$

Gaya reaksi tumpuan L (ujung kaki) diperoleh sebagai :

$$R_{L1} = \frac{[W_{tk1} \cdot s_1 - W_{k1} \cdot s_4]}{s_4} \quad (13)$$

$$R_{L2} = \frac{[W_{tk2} \cdot s_1 + W_{k2} \cdot (s_1 + s_2)]}{s_1 + s_2 + s_3} \quad (14)$$

Hasil dari pemodelan di atas masih dalam kerangka asumsi penyederhanaan sistem kerangka tubuh manusia, yang sebenarnya melibatkan banyak bentuk-bentuk tidak sederhana. Misal untuk bentuk tulang yang disederhanakan menjadi garis lurus saja, sementara sistem tulang dan otot pada lengan dan kaki dimodelkan sebagai segitiga dengan pusat berat pada ujung dasar segitiga. Hubungan keterikatan berbagai tulang dada, sistem organ dan otot/daging tubuh tidak diikutsertakan sebagai variabel pemodelan. Sistem sumbu juga disederhanakan menjadi bidang 2D yang meskipun melibatkan 2 proyeksi anatomi, masih berpotensi besar mengurangi efek kesaling tergantung variabel dalam sumbu 3D. Perbaikan sedang dilakukan dengan menambahkan 1 sistem proyeksi, yaitu melibatkan sumbu transversal anatomi. Keterbatasan berikutnya dari model ini adalah foto acuan belum menunjukkan proyeksi tegak lurus yang memungkinkan penskalaan dimensi secara tepat. Pengukuran statis dan pencitraan berbasis gerak dinamis juga sedang dilakukan untuk mendapatkan peningkatan akurasi pemodelan.

Dari hasil model matematis dapat dilihat bahwa pembebanan linier statis, bahkan dalam asumsi keseimbangan statis sesaat, sudah melibatkan variabel yang sangat banyak. Akurasi model matematis ini nantinya bisa dibandingkan jika diperoleh data-data aktual terkait anatomi penari, dan data-data gaya otot melalui pengukuran elektromiograf. Secara teoritis semua gaya dalam satu sistem keseimbangan dapat berpengaruh pada satu titik acuan yang dipilih. Mengingat bahwa semua gaya yang bekerja dalam pemodelan ini diasumsikan berasal dari gaya berat, titik-titik acuan hanya dipengaruhi oleh gaya-gaya yang bekerja di atasnya. Hasil yang lebih bagus sebenarnya tampak dalam perumusan keseimbangan momen.

Jika dipadukan dengan hasil wawancara dengan penari, beban terberat muncul di area seputar titik pusat berat tubuh (C_{og}) meskipun secara teoritis semestinya muncul di titik tumpuan kaki. Hal ini tampaknya kembali pada fakta bahwa luasan di area C_{og} lebih kecil dari area tumpuan setiap kaki, dan hanya tersedia 1 titik di C_{og} sementara di titik tumpuan kaki beban tubuh dibagi dua kanan dan kiri. Juga ada dugaan bahwa bagian tangan dan kaki selalu bergerak dinamis sehingga pembebanan pada titik-titik tumpuan bahu dan kaki

berubah setiap saat, sementara titik C_{og} lebih permanen terpapar beban selama periode menari dengan pergeseran yang tidak terlalu jauh. Secara keseluruhan, pemodelan dalam artikel ini bisa dijadikan acuan awal untuk model biomekanika penari Gandrung, yang siap dilengkapi dan dikembangkan.

KESIMPULAN

Dengan beberapa keterbatasan, sistem pemodelan yang telah dikembangkan ini merupakan modal awal dan kemajuan yang cukup signifikan bagi kajian biomekanika tari tradisional Indonesia. Hasil yang dicapai cukup memberikan gambaran kondisi pembebanan faktual yang terjadi pada penari selama menampilkan tariannya. Fragmen-fragmen posisi dalam tari Gandrung tidak terbatas pada 2 ragam tersebut, sehingga kajian biomekanika satu tarian merupakan kajian yang sangat luas pengembangannya. Ini membuka peluang kajian sejenis untuk tari-tari tradisional lainnya, maupun kajian lanjutan dengan pendekatan multi disiplin ilmu untuk meningkatkan akurasinya, atau dikembangkan untuk berbagai keperluan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Publikasi ini merupakan bagian luaran penelitian yang didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, sesuai dengan Kontrak Penelitian Nomor: 229/SP2H/LT/DRPM/2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Aquino, J. & Amasay, T. (2019). Biomechanical Comparison of “Dead” and “New” Pointe Shoes in Female Professional Ballet Dancers. *The Sport Journal*, 1-9
- Astuti, D.P. (2014). Fungsi Kinestetik Tari Rantaya Alus Gaya Surakarta Sebagai Terapi Talenta Menari. *Skripsi*, Program Studi Pendidikan Seni Tari, Fakultas Bahasa dan Seni, Universitas Negeri Yogyakarta
- Batieieva, N. & Kyzim, P. (2016). Technique of The Biomechanical Analysis of Execution of Upward Jump Piked. *Slobozhanskyi Herald of Science and Sport* 6(56), 13-18
- Carter, S. L. Bryant, A. R. & Hopper, L. S. (2019). An Analysis of The Foot in Turnout Using a Dance Specific 3D Multi-Segment Foot Model. *Journal of Foot and Ankle Research* 12(10), 1-11

- Carter, S. L. Sato, N. Hopper, L. S. (2018). Kinematic Repeatability of a Multi-Segment Foot Model for Dance. *Sports Biomechanics* 17(1), 48-66
- Choi, W. Isaka, T. Sekiguchi, H. & Hachimura, K. (2009). Quantitative Analysis of Leg Movement and EMG Signal in Expert Japanese Traditional Dancer. *www.intechopen.com*, diakses tanggal 29 April 2019
- Damaitu, E. R. Handono, M. & Sari, N. K. (2013). Perlindungan Hukum Hak Cipta Atas Tari Tradisional Gandrung Banyuwangi. *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa Perdata Ekonomi, Fakultas Hukum, Universitas Jember*
- Dworak, L. B. (2005). A Study Characterizing Dynamics Overload of Professional Dancers. Biomechanical Approach. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 7(1), 77-84
- Glumm, S. A. (2017). Functional Performance Criteria to Assess Pointe-Readiness in Youth Ballet Dancers. *a Thesis in Kinesiology*. Master of Science, College of Health and Human Development, The Pennsylvania State University
- Hansberger, B. L. Acocello, S. Slater, L. V. Hart, J. M. & Ambegaonkar, J. P. (2018). Peak Lower Extremity Landing Kinematics in Dancers and Nondancers, *Journal of Athletic Training* 53(4), 379–385
- Hopper, L. S. (2011). Dancer Injury Rates, Perceptions and Landing Mechanics on Dance Floors with Varied Mechanical Properties. *Thesis Doctor of Philosophy of Biomechanics*. University of Western Australia
- Huh, E. (2016). Balance Control in Dance Positions. *Doctoral Thesis*. Doctor of Philosophy, Loughborough University
- Ilham, D. & Yusuf, Y. (2012). Analisa Gaya dalam Keadaan Statis pada Sistem Muskuloskeletal Tangan-Lengan Manusia, *Pertemuan Ilmiah XXVI HFI Jateng & DIY*. Purworejo 14 April 2012. ISSN: 0853-082, 73-76
- Kalichova, M. (2011). Biomechanical Analysis of the Basic Classical Dance Jump—the Grand Jete, *World Academy of Science, Engineering & Technology*. Vol 5, 11-20
- Kim, J. B. S. (2018). A Biomechanical Comparison of Successful and Unsuccessful Triple-Turn Pirouette En Dehors Trials in Ballet. *a Dissertation, Doctor of Philosophy*. School of Health Promotion and Kinesiology, College of Health Sciences, Texas Woman's University

- Koutedakis, Y. Owolabi, E. O. & Apostolos, M. (2008). Dance Biomechanicsa Tool for Controlling Health, Fitness, and Training, *Journal of Dance Medicine & Science*. 12(3), 83-90
- Krasnow, D. Wilmerding, M. V. Stecyk, S. Wyon, M. & Koutedakis, Y. (2011). Biomechanical Research in Dance: a Literature Review, *Literatur Review, Medical Problems of Performing Artists*
- Lena, F. Supadmi, T., & Ramdiana. (2018). Analisis Unsur Gerak Tari Seudati, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Program Studi Pendidikan Seni Drama, Tari dan Musik*, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Unsyiah III(1), 32-43
- McCarty, K., Darwin, H. Cornelissen, P. L., Saxton, T. K., Tovée, M. J., Caplan, N. & Neave, N. (2017). Optimal Asymmetry and Other Motion Parameters that Characterise High-Quality Female Dance, *Scientific Reports*. |7:42435| DOI: 10.1038/srep42435, 1-9
- Natália T. F., Angélica C. A., Rita de C. E., Ivan L. B., Laércio da S. P., & Fernanda A. B. (2017). Analysis of the Rotational Degree of Hip of Classic Dancers. *International Physical Medicine & Rehabilitation Journal*. 1(4), 76-80
- Nugent, M. M., & Milner, T. E. (2017). Segmental Specificity in Belly Dance Mimics Primal Trunk Locomotor Patterns. Research Article. Control of Movement. *J. Neurophysiol* 117, 1100–1111
- Ochoa, P. B. (2016). Comparison of Body Composition, Neuromuscular Characteristics and Anaerobic Endurance Between Novice, Semi-Professional and Professional Ballet Dancers. *Thesis, Master of Science (Sport Science)*. School of Medical and Health Sciences, Edith Cowan University
- Pappas, E., Orishimo, K. F., Kremenich, I., Liederbach, M., & Hagins, M. (2012). The Effects of Floor Incline on Lower Extremity Biomechanics During Unilateral Landing From a Jump in Dancers. *Journal of Applied Biomechanics*. 2012(28), 192-199
- Payton, C. J., & Bartlett, R. M. (2008). *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise, The British Association of Sport and Exercise Sciences Guidelines*., Routledge Taylor & Francis Group. London and New York
- Pohjola, H., Sayers, M., Mellifont, R., Mellifont, D., & Venojärvi, M. (2014). Three-Dimensional Analysis of a Ballet Dancer with Ischial Tuberosity Apophysitis. a Case Study. *Journal of Sports Science and Medicine* (2014)13, 874-880

- Putri, M. E. (2014). Gerakan Tari Ketuk Tilu dengan Teknik Long Exposure (Bulb) (Untuk mengenalkan gerakan dari tarian tersebut). *Tugas Akhir*. Program Studi Fotografi dan Film, Fakultas Ilmu Seni dan Sastra, Universitas Pasundan, Bandung
- Rini, S. (2016). Bentuk Penyajian dan Nilai-nilai Kepahlawanan yang Terkandung Dalam Tari Gandrung di Kabupaten Banyuwangi Jawa Timur. *Skripsi Sarjana*. Fakultas Bahasa dan Seni Universitas Negeri Jogjakarta
- Riyanta, K. G. B., Anggreini, F. M., Hindom, M. C., Putra, A. A. D. D. D., & Weta, I. W. (2010). Pengaruh Latihan Tari Legong Terhadap Kebugaran Fisik Mahasiswi Semester VI dan VIII Fakultas Kedokteran Universitas Udayana. *Artikel PKM DP2M-DIKTI*
- Sari, A. T. R., & Wahyudi. (2017). Rekonstruksi Gerak pada Tari Remo Tawi Jombang. *Joged* 10(2), 577-589
- Sejati, I. R. H. (2012). Biola Dalam Seni Pertunjukan Gandrung Banyuwangi. *Harmonia* 12(2), 95-107
- Sugiyanto, 2012, Kajian Ilmu Keolahragaa, *Sport Science* 01(01), 1-9
- Suharti, M. 2012, Tari Gandrung Sebagai Obyek Wisata Andalan Banyuwangi. *Harmonia* 12(1), 24-31
- Teplá, L., Procházková, M., Svoboda, Z., & Janura, M. (2014). Kinematic Analysis of the Gait in Professional Ballet Dancers. *Acta Gymnica* 44(2), 85–91
- Tortora, G. J. (2005). *Principles of Human Anatomy 10th Ed*, John Wiley & Sons, Inc. Danvers, MA. USA
- Volkerding, K. E., & Ketcham, C. J. (2013). Biomechanics and Proprioceptive Differences during Drop Landings between Dancers and Non-Dancers. *International Journal of Exercise Science*, 289-299
- Wang, X., Chen, Q., & Wang, W. (2014). 3D Human Motion Editing and Synthesis: a Survey. *Hindawi Publishing Corporation Computational and Mathematical Methods in Medicine*. Volume 2014, Article ID 104535, 1-11
- Wilson, M. (2009). Applying Biomechanic Research in the Dance Studio. *The International Association for Dance Medicine & Science Bulletin for Teachers* 1(2), 11-13

NOMENKLATUR

- R = gaya reaksi tumpuan
s = notasi jarak

W_t = berat telapak tangan

W_{la} = berat lengan atas

W_{lb} = berat lengan bawah

W_b = berat tulang bahu

W_d = berat kepala

W_{tbl} = berat tulang belakang di bawah bahu

W_s = berat tulang panggul

W_p = berat paha

W_{tk} = berat tulang kering

W_k = berat kaki

$\alpha, \beta, \gamma, \sigma$ menunjukkan notasi sudut