

Pengaruh kelelahan terhadap perubahan kinematika gerak pada saat *overhead jumping smash* dalam permainan bulutangkis

Fatigue effect on movement kinematic changes of overhead jumping smash in badminton

Agus Rusdiana

Program Studi Ilmu Keolahragaan, Fakultas Pendidikan Olahraga dan Kesehatan,
Universitas Pendidikan Indonesia. Jalan Dr. Setiabudi No.229 Bandung, West Java,
40154, Indonesia

Received: 14 January 2020; Revised: - ; Accepted: 11 April 2020

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kelelahan kardiovaskular terhadap perubahan kinematika gerak pada tubuh bagian atas saat pukulan *overhead jumping smash* dalam permainan bulutangkis. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan *pre test and post test design*. Sampel yang digunakan adalah pemain bulutangkis putra yang mempunyai keterampilan teknik *overhead jumping smash* dengan rata-rata usianya 19.4 ± 1.6 tahun, tinggi badan 1.73 ± 0.12 m dan berat badan 60.8 ± 3.7 kg dengan jumlah keseluruhan 12 orang. Penelitian ini menggunakan satu buah *3D force platform device*, 3 buah *Panasonic handycam*, *Frame DIAZ IV 3D motion software analysis*, *cosmed direct gas analyzer* dan *radar speed gun*. Hasilnya menunjukkan bahwa pada fase *maximum angular velocity* terdapat perbedaan signifikan pada empat variabel saat kondisi *fatigue* dan *non fatigue* antara lain *shoulder internal rotation* ($P=0.042$), *elbow extension* ($P=0.035$), *forearm supination* ($P=0.024$) dan *wrist dorsi flexion* ($P=0.040$). Selanjutnya pada fase *instant of maximal shoulder external rotation* terdapat tiga variabel perbedaan yang signifikan antara lain *shuttlecock velocity* ($P=0.035$), *shoulder external rotation* ($P=0.048$), dan *wrist palmar flexion* ($P=0.037$). Kesimpulan bahwa *internal shoulder rotation*, *wrist palmar flexion* dan *forearm supination* memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap kecepatan *shuttlecock* pada saat melakukan *overhead jumping smash* dalam permainan bulutangkis.

Kata kunci: biomekanika, *jumping smash*, kecepatan *shuttlecock*, bulutangkis.

Abstract

The purpose of this study is to determine fatigue effect on the changes of Movement parameter kinematic in the upper body during overhead jumping smash in badminton. The method used in this study is quantitative descriptive with pre-test and post-test design approach. The sample is 12 male badminton university players who have overhead jumping smash technical with an average age of 19.4 ± 1.6 years, height 1.73 ± 0.12 m and weight of 60.8 ± 3.7 kg. This study employs a 3D force platform device, 3 Panasonic camera, motion analysis software Frame DIAZ IV, cosmed direct gas analyzer and radar speed gun. The results show that in the maximum angular velocity phase, there are significant differences in the four variables during fatigue and non-fatigue conditions including shoulder internal rotation ($P = 0.042$), elbow extension ($P = 0.035$), forearm supination ($P = 0.024$) and wrist dorsi flexion ($P = 0.040$). Furthermore, in



the instant of maximal external shoulder rotation phase, there are three significant differences including shuttlecock velocity ($P = 0.035$), shoulder external rotation ($P = 0.048$) and wrist palmar flexion ($P = 0.037$). The conclusion is the internal shoulder rotation, wrist palmar flexion and forearm supination contribute significantly to shuttlecock velocity during overhead jumping smash in badminton.

Keywords: *biomechanics, jumping smash, shuttlecock velocity, badminton.*

PENDAHULUAN

Penelitian tentang biomekanika yang terkait dengan *overhead smash* dalam permainan bulutangkis sangat minim dilakukan, akan tetapi kajian pembahasan dari cabang olahraga lain yang sangat mirip dengan mekanisme rangkaian gerak *overhead smash* sudah banyak di publikasikan seperti pada gerak servis dan smash olahraga tenis, lemparan bola tangan, lemparan bola *cricket* dan lemparan *pitcher* baseball yang dapat membantu memberikan kajian wawasan luas tentang kinematika gerak *overhead smash* dalam permainan bulutangkis (Mei, Gu, Fu, & Fernandez, 2016). Pukulan *overhead smash* dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok yaitu yang dilakukan dalam sikap berdiri (*standing smash*) dan sambil meloncat (*jumping smash*) (Phomsoupha & Laffaye, 2014).

Pukulan *jumping smash* dapat menghasilkan kecepatan *shuttlecock* maksimal dalam upaya mematikan pergerakan lawan serta meraih angka sebanyak mungkin dengan kontribusi mencapai 39.8% (Sakurai & Ohtsuki, 2010). Selain itu, laju *shuttlecock* yang dihasilkan dari pukulan tersebut melebihi kecepatan bola pada olahraga raket lainnya dengan mencapai 493 km/jam yang dilakukan pemain China Tan Boon Heong pada saat melakukan uji coba sebuah produk raket baru (Yonex ArcSaber Z-Slash) pada tahun 2013 (Reid, Giblin, & Whiteside, 2015). Kemudian pemain ganda putra China Fu Haifeng yang menghasilkan kecepatan *shuttlecock* sekitar 332 km/jam pada kejuaraan Sudirman Cup tahun 2005 (Lam, Ding, & Qu, 2016). Selain itu, pada nomor tunggal putra pemain Indonesia Taufik Hidayat mencapai kecepatan *shuttlecock* 305 km/jam pada kejuaraan dunia tahun 2006 (Rusdiana, 2016).

Beberapa hasil penelitian yang sudah dilakukan di *tennis serve* dan *overarm throw baseball* menunjukkan bahwa perluasan ruang gerak pada persendian dapat memberikan kontribusi lebih besar terhadap kecepatan dan akselerasi gerakan segmen tubuh (Alcock & Cable, 2009). Kemudian, faktor yang mempengaruhi kecepatan *shuttlecock* adalah pergerakan sendi tangan (*palmar flexion at wrist joint*) atau disebut juga “*wrist snap*” yang memberikan kontribusi sekitar 20% (Gawin, Beyer, & Seidler, 2017). Selain itu, gerak pada sendi lengan *forearm pronation supination* memberikan pengaruh signifikan pada kecepatan *shuttlecock* sekitar 10% (Gawin et al., 2017). Peran dominan gerak sendi bahu pada ayunan rotasi maksimal ke belakang yang dilanjutkan gerakan rotasi ke depan (*external internal shoulder rotation*) sampai pada gerak lanjutan (*follow through*) merupakan faktor utama dalam menghasilkan kecepatan bola dengan berkontribusi lebih dari 40% pada gerak *smash tennis* (Gordon, 2006).

Pukulan *jumping smash* merupakan rangkaian koordinasi gerak bagian tubuh secara keseluruhan yang berkesinambungan. Sedangkan koordinasi gerak dipengaruhi oleh otot rangka yang fungsinya disebabkan oleh rangsangan yang dilakukan oleh saraf motorik somatik dalam usaha menggerakkan anggota tubuh (Abián et al., 2017). Fungsi utama otot rangka adalah kontraksi yang akan mengakibatkan terjadi perubahan posisi yang disebut dengan “*motor segment movement*” (Wagner, Pfusterschmied, Duvillard, Müller, & Mu, 2011). Pemain melakukan pukulan *jumping smash* membutuhkan tenaga yang maksimal dan gerakan yang kompleks dengan dukungan komponen fisik diantaranya power otot tungkai, kekuatan otot lengan, kekuatan otot perut, kekuatan otot lengan, dan tangan (Hirashima, Kadota, Sakurai, & Kudo, 2010).

Kontraksi otot yang kuat dan lama saat memukul terus menerus selama latihan atau bertanding akan berdampak kepada sumber energi dalam tubuh terus berkurang yang menyebabkan terjadinya kelelahan (Ooi, Tan, Ahmad, Kwong, & Sompong, 2009). Selain itu, berkurangnya energi menjadi penyebab menurunnya kekuatan dan kecepatan kontraksi otot yang berdampak terhadap rangsangan perintah menjadi lebih lambat

(Mansec, Pageaux, Nordez, & Dorel, 2017). Dengan demikian semakin lambat dan tidak terkontrol gerakan akan menunjukkan semakin lelah kondisi otot seseorang (Aragonés et al., 2017).

Dari penjelasan uraian latar belakang diatas, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kelelahan kardiovaskular terhadap perubahan indikator parameter kinematika khususnya gerak pada tubuh bagian atas saat pukulan *overhead jumping smash* dalam permainan olahraga bulutangkis.

METODE

Partisipan

Partisipan dalam penelitian ini adalah pemain yang bergabung dalam unit kegiatan mahasiswa bulutangkis Universitas Pendidikan Indonesia yang berjumlah 56 orang. Sedangkan sampel yang digunakan adalah pemain bulutangkis putra yang mempunyai keterampilan teknik *overhead jumping smash* dengan rata-rata usianya 19.4 ± 1.6 tahun, tinggi badan 1.73 ± 0.12 m dan berat badan 60.8 ± 3.7 kg dengan jumlah keseluruhan 12 orang.

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan *pre test and post test design*.

Instrumen

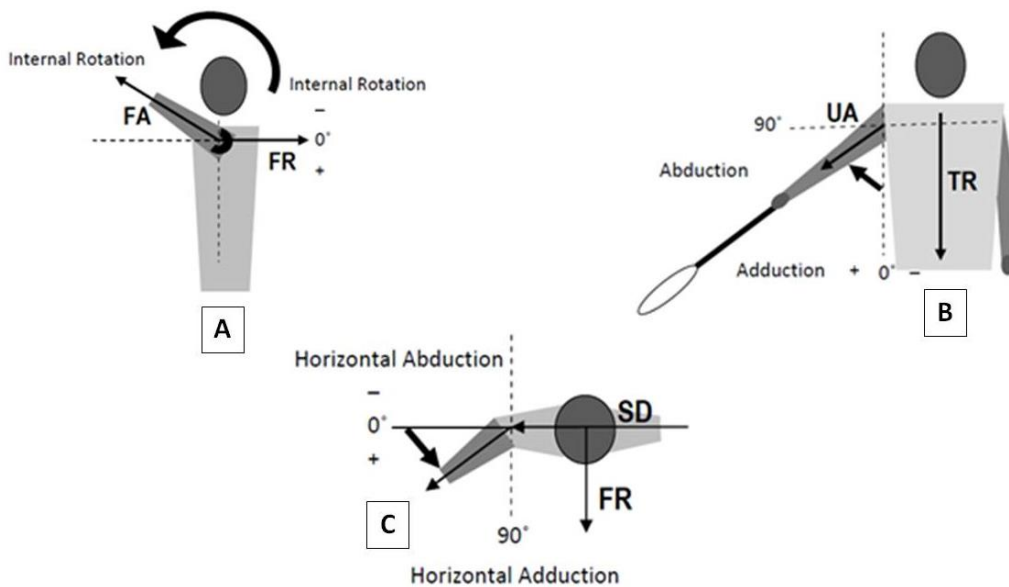
Penelitian ini adalah menggunakan satu buah *3D Force Platform Device* (AMTI OR6), 3 buah *Panasonic Handycam HC-V100 Full HD*, satu unit *high speed camera* (Phantom USA), satu set kalibrasi 3 dimensi, *Frame DIAZ IV 3D motion software analysis*, *Cosmed direct gas analyzer* dan *radar speed gun*. Sedangkan tempat pengambilan data dilakukan di *sport hall* dan *sport science laboratory* FPOK UPI. Adapun peralatan yang digunakan untuk mengukur indikator kelelahan adalah seperangkat alat pengukur fisiologi *Fitmate MED (COSMED srl-Italy)* terdiri dari *heart rate transmitter*, *heart rate receiver*, *V mask (Hans Rudolph Inc)*, dan *treadmill SportArt@60*. Protokol *treadmill* yang dilakukan adalah menggunakan protokol *maximal test*.



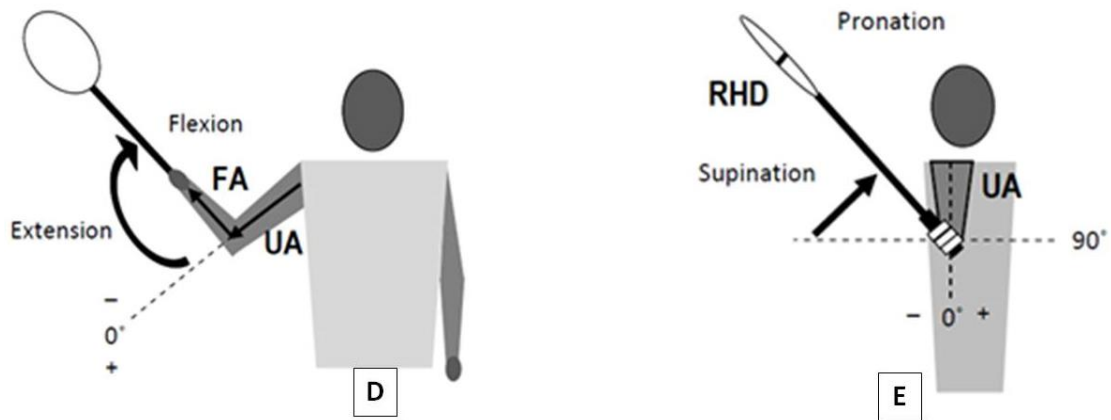
Gambar 1. Pengukuran kelelahan di *sport science laboratory* FPOK UPI

Parameter Kinematika Gerak

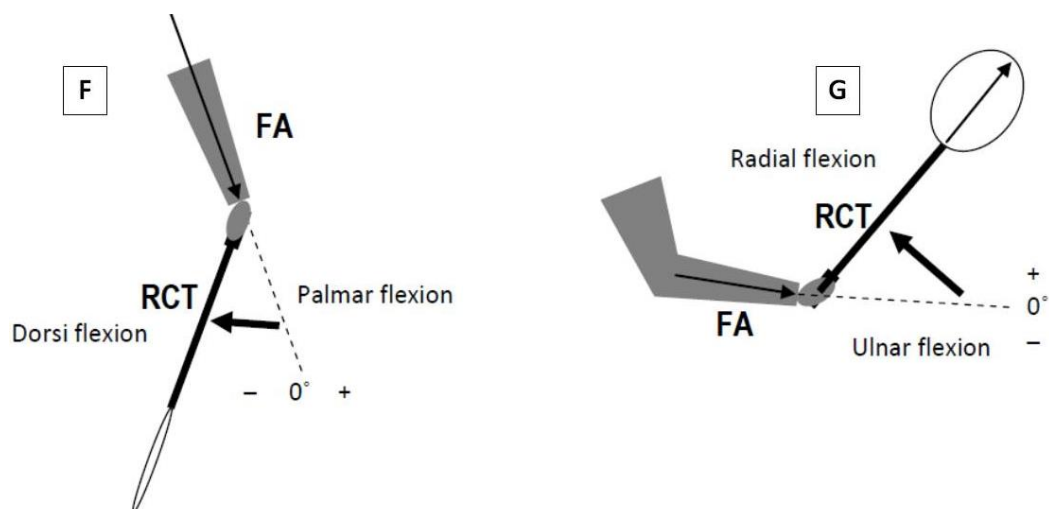
Untuk mengetahui karakteristik mekanika pukulan *jumping smash* maka dilakukan pembuatan model sesuai dengan prinsip anatomi gerak yaitu pada sendi bahu yang terdiri dari tiga karakteristik gerakan antara lain *internal external shoulder rotation* (A), *shoulder abduction-adduction* (B) dan *shoulder horizontal abduction-adduction* (C).



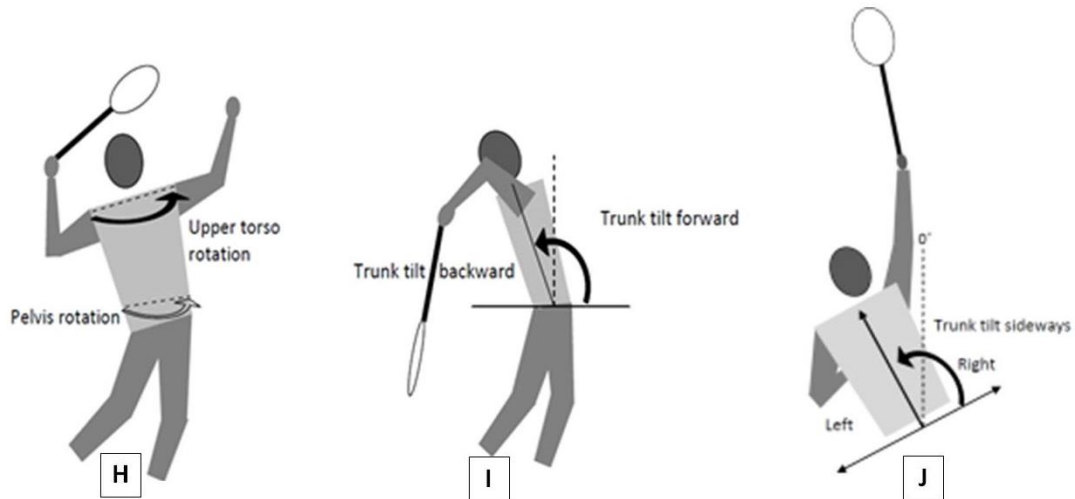
Pada sendi sikut yang terdiri dari dua karakteristik gerakan yaitu *elbow flexion-extension* (D) dan *forearm pronation-supination* (E).



Pada sendi pergelangan tangan yang terdiri dari dua karakteristik gerakan yaitu *palmar-dorsi flexion* (F) dan *radial-ulnar flexion* (G).



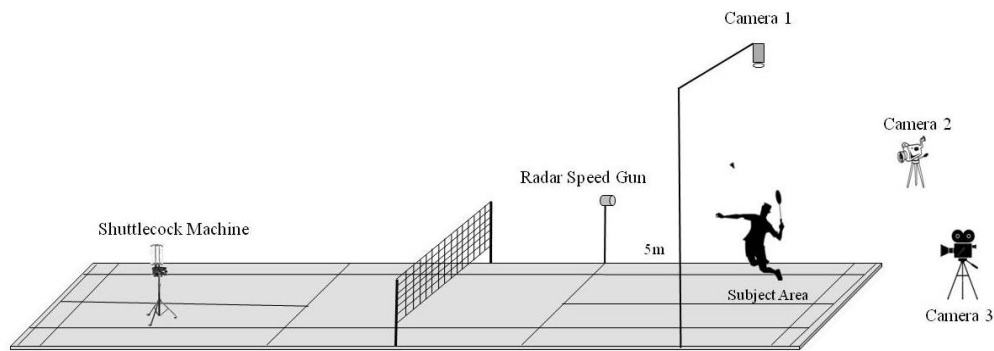
Berikutnya adalah gerakan *upper torso rotation* dan *pelvis rotation* (H), *trunk tilt forward* dan *trunk tilt backward* (I) serta *trunk tilt left and right sideways* (J).



Gambar 2. Parameter kinematika gerak pada sendi tubuh bagian atas
(Sumber: [Rusdiana, 2016](#))

Prosedur Pengambilan Data

Untuk mengukur kecepatan *shuttlecock* menggunakan satu buah *speed radar gun* yang di pasang di samping lapangan. Kamera 1 ditempatkan diatas tegak lurus pada *subject area* dengan jarak 5m, tujuannya adalah mendapatkan rekaman gerakan sendi bahu dan panggul pada saat melakukan *jumping smash*. Sedangkan kamera 2 diposisikan di samping kanan *subject area*, kamera 3 ditempatkan tegak lurus dibelakang *subject area* dengan tujuan mendapatkan gambaran komprehensif gerakan seluruh persendian pada tubuh bagian atas serta hasil loncatan dari *jumping smash*. Satu buah pelontar *shuttlecock machine* di letakkan tegak lurus di area lapangan yang berlawanan dengan *subject area* dengan tujuan agar akurasi dan kecepatan *shuttlecock* lebih stabil.



Gambar 3. Skema pengambilan data lapangan

Pemain diberikan kesempatan melakukan *jumping smash* sebanyak 10 kali secara bergantian dengan tujuan untuk menghindari kelelahan setelah melakukan pemanasan sekitar 10 menit pada pengambilan data tahap pertama. Pada tahap kedua pemain terlebih dahulu diberikan tes kelelahan dengan menggunakan *heart rate monitor* yang diintegrasikan dengan *treadmill ergometer*. Setelah itu, pemain melakukan pukulan *jumping smash* sebanyak 10 kali secara terus menerus.

HASIL

Berikut ini penjelasan analisis data terkait perbedaan kecepatan *shuttlecock* dan perubahan kinematika gerak pada saat *fatigue* dan *non fatigue* pada saat melakukan *overhead jumping smash* dalam permainan bulutangkis.

Tabel 1. Parameter kinematic pada fase *instant of maximal shoulder external rotation*

Kinematic Parameter Analysis	Means ± SD	
	Fatigue	Non Fatigue
<i>Shuttlecock velocity (km/h)*</i>	145 ± 5.7	188 ± 3.5
<i>Jump height (cm)</i>	43 ± 6.8	46 ± 5.1
<i>Shoulder external rotation (deg)*</i>	-162 ± 3.5	-134 ± 4.2
<i>Shoulder abduction (deg)</i>	101 ± 1.2	106 ± 1.4
<i>Shoulder horizontal adduction (deg)</i>	7 ± 0.83	9 ± 0.96
<i>Elbow flexion (deg)</i>	94 ± 1.1	102 ± 1.3
<i>Forearm pronation (deg)</i>	14 ± 1.1	1 ± 1.3
<i>Wrist palmar flexion (deg)*</i>	-21 ± 2.1	-47 ± 2.4
<i>Trunk tilt backward (deg)</i>	21 ± 3.5	24 ± 3.1
<i>Trunk tilt sideways left (deg)</i>	19 ± 1.4	21 ± 1.6

* Perbedaan signifikansi pada taraf 0.05

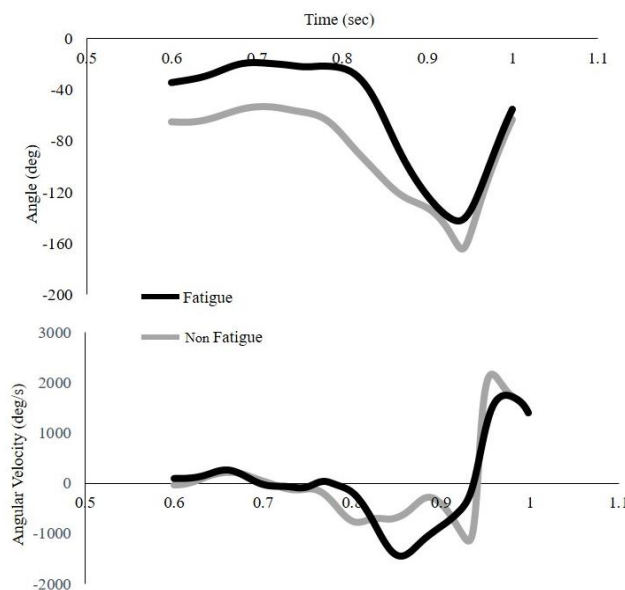
Pada tabel 1 menunjukkan bahwa dari sepuluh *kinematic parameter* pada fase *instant of maximal shoulder external rotation* terdapat perbedaan signifikan pada tiga variabel pada kondisi *fatigue* dan *non fatigue* antara lain *shuttlecock velocity* ($P=0.035$), *shoulder external rotation* ($P=0.048$) dan *wrist palmar flexion* ($P=0.037$).

Tabel 2. *Parameter kinematic pada fase maximum angular velocity*

Kinematic Parameter Analysis	Means ± SD	
	Fatigue	Non Fatigue
<i>Shoulder internal rotation (deg/s)*</i>	1623 ± 3.5	2111 ± 4.2
<i>Upper torso rotation (deg/s)</i>	761 ± 1.2	782 ± 1.4
<i>Pelvis rotation (deg/s)</i>	421 ± 0.83	429 ± 0.96
<i>Elbow extension (deg/s)*</i>	776 ± 1.1	985 ± 1.3
<i>Forearm supination (deg/s)*</i>	442 ± 1.1	694 ± 1.3
<i>Wrist dorsi flexion (deg/s)*</i>	413 ± 2.1	855 ± 2.4
<i>Trunk tilt forward (deg/s)</i>	185 ± 3.5	199 ± 3.1

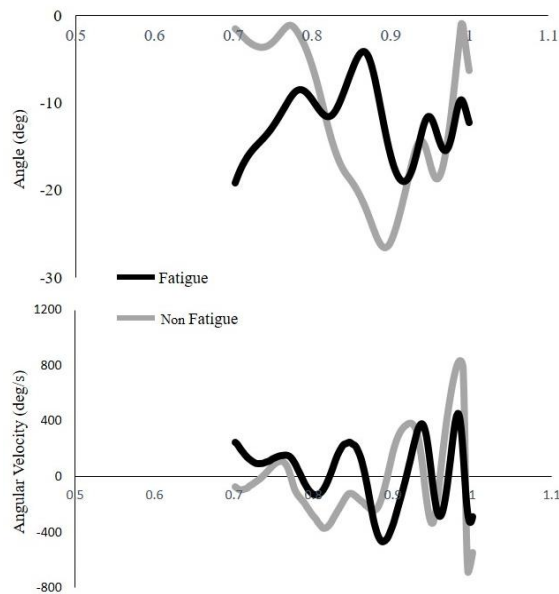
* *Perbedaan signifikansi pada taraf 0.05*

Pada tabel 2 menunjukkan bahwa dari tujuh *kinematic parameter* pada fase *maximum angular velocity* terdapat perbedaan signifikan pada empat variabel pada saat kondisi *fatigue* dan *non fatigue* antara lain *shoulder internal rotation* ($P=0.042$), *elbow extension* ($P=0.035$), *forearm supination* ($P=0.024$) dan *wrist dorsi flexion* ($P=0.040$).



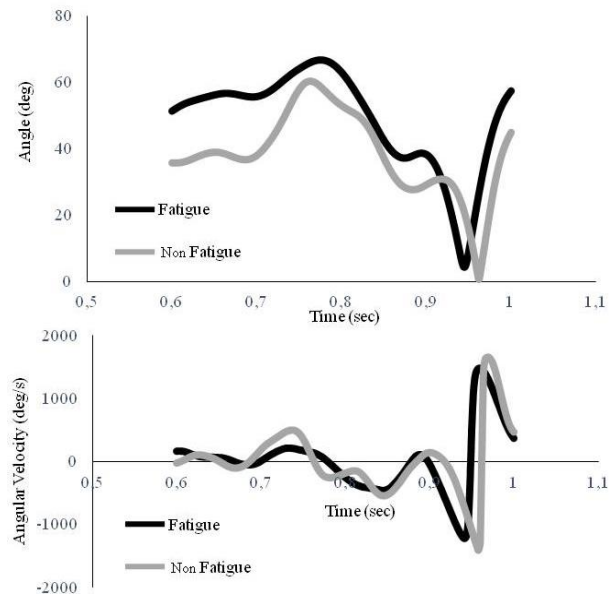
Gambar 4. Perubahan maksimal sudut dan kecepatan rotasi pada sendi bahu (*shoulder internal rotation*)

Gambar 4 menunjukkan perbedaan yang signifikan pada perubahan sudut gerakan *shoulder external rotation* (-162° vs -134°) dan kecepatan *internal shoulder angular velocity* ($1623^\circ/s$ vs $2111^\circ/s$) pada saat kondisi *fatigue* dan *non fatigue*.



Gambar 5. Perubahan sudut dan kecepatan rotasi pada sendi tangan (*wrist flexion extension angular velocity*)

Gambar 5 menunjukkan perbedaan yang signifikan pada perubahan gerak sudut maksimal *wrist palmar flexion* (-21° vs -47°) dan kecepatan rotasi *wrist dorsi flexion* ($413^\circ/s$ vs $855^\circ/s$) pada saat kondisi *fatigue* dan *non fatigue*.



Gambar 6. Perubahan sudut dan kecepatan rotasi pada sendi lengan *forearm pronation supination*

Gambar 6 menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan pada perubahan sudut *forearm pronation* (14° vs 1°) dan kecepatan putaran *forearm supination* ($442^\circ/s$ vs $694^\circ/s$) pada saat kondisi *fatigue* dan *non fatigue*.

Tabel 3. Parameter kinematic pada fase *instant of shuttlecock release*

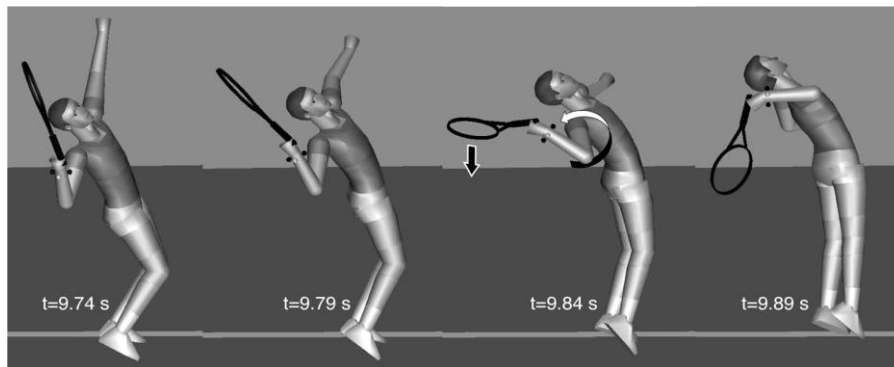
Kinematic Parameter Analysis	Means \pm SD	
	Fatigue	Non Fatigue
<i>Shoulder abduction (deg)</i>	23 \pm 3.5	27 \pm 4.2
<i>Shoulder horizontal abduction (deg)*</i>	14 \pm 1.2	37 \pm 1.4
<i>Elbow extension (deg)</i>	78 \pm 1.1	81 \pm 1.3
<i>Wrist palmar flexion (deg)</i>	5 \pm 1.1	8 \pm 1.2
<i>Trunk tilt forward right (deg)</i>	17 \pm 3.5	21 \pm 3.1

* Perbedaan signifikansi pada taraf 0.05

Pada tabel 3 menunjukkan hanya satu variabel perbedaan yang signifikan dari lima *kinematic parameter* pada fase *instant of shuttlecock release* pada saat kondisi *fatigue* dan *non fatigue* yaitu *shoulder horizontal abduction*.

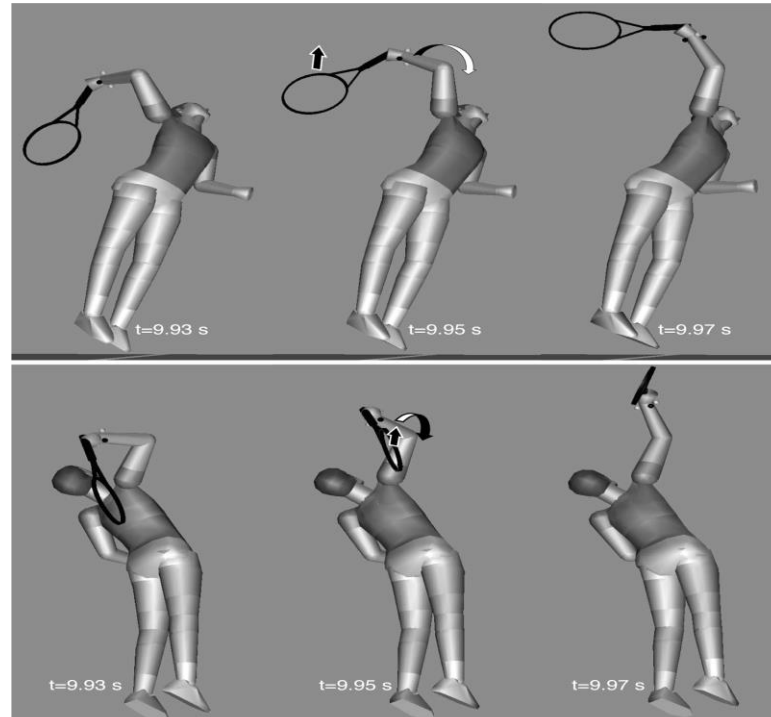
PEMBAHASAN

Rangkaian pola gerak dari pukulan *overhead jumping smash* membutuhkan kecepatan dan percepatan linier dan melingkar dari gerakan tubuh, shuttlecock dan ayunan raket. Sedikit sekali penelitian yang menjelaskan mekanisme gerak terkait teknik pukulan *forehand overhead stroke* terutama *jumping smash*. Tetapi, menurut [Gordon \(2006\)](#) dalam penelitiannya yang menganalisis tentang kontribusi kecepatan rotasi persendian tubuh bagian atas pada *tennis serve* menyatakan bahwa gerakan sendi bahu maksimal pada waktu raket mengayun ke belakang (*shoulder external rotation*) merupakan momentum awal untuk menghasilkan kecepatan rotasi bahu ke depan yang lebih cepat (*shoulder internal rotation*) sehingga mendapatkan kecepatan bola yang lebih besar ([Gawin et al., 2017](#)), seperti yang terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Kontribusi *shoulder external rotation* pada waktu raket mengayun ke belakang. (Sumber: [Gordon, 2006](#)).

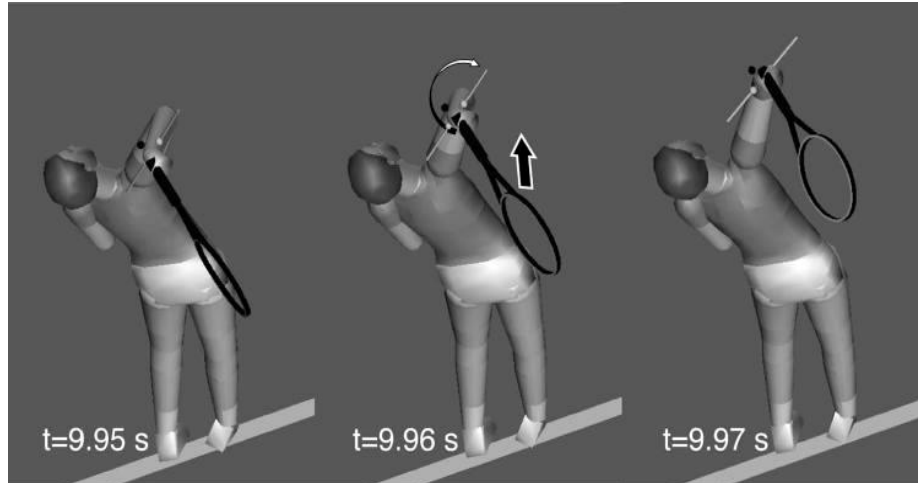
Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan dari [Gordon, 2006](#) di *tennis serve* bahwa sendi sikut memberikan kontribusi terhadap kecepatan bola. Pada gerakan *elbow extension* semakin cepat berputar maka akan menghasilkan suatu dorongan yang kuat dari lengan bagian atas dan ayunan raket ke depan sebelum terjadi benturan dengan *shuttlecock*, seperti penjelasan gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Gerakan *elbow flexion-extension* (Sumber: [Gordon, 2006](#)).

Hasil daripada penelitian tersebut, menunjukkan bahwa gerakan fleksi dan ekstensi pada sendi sikut mencapai 30% terhadap kecepatan ayunan raket. Kecepatan putaran dari sendi lainnya yang mempunyai peranan penting terhadap kecepatan ayunan raket adalah sendi sikut gerakan *pronation-supination* ([Gordon, 2006](#)). Gerakan sendi ini, terutama kecepatan putaran gerak supinasi dari lengan bagian bawah sesaat sebelum impact dengan *shuttlecock* memberikan dukungan yang besar terhadap kecepatan shuttlecock dan raket ([Gawin et al., 2017](#)).

Gerakan ini terlihat jelas apabila pemain yang mempunyai keterampilan teknik tinggi. Sedangkan untuk pemain pemula, biasanya gerakan tersebut hampir tidak terjadi. Maka tidak mengherankan pemain profesional menghasilkan kecepatan *shuttlecock* yang jauh lebih besar dibandingkan dengan pemain juniornya, seperti terlihat pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Gerakan *pronation-supination at radio ulnar joint* sebelum terjadi impact (Sumber: [Gordon, 2006](#)).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah dijelaskan, menunjukkan suatu kesimpulan bahwa kecepatan *shuttlecock* pada saat melakukan pukulan *jumping smash* pada saat kondisi *non faigue* hasil lebih cepat dibandingkan pada saat *fatigue*. Hal ini disebabkan karena kelelahan otot yang terjadi setelah kontraksi otot yang kuat dan lama, di mana otot tidak mampu lagi berkontraksi dalam jangka waktu tertentu. Kelelahan otot menunjuk pada suatu proses yang mendekati definisi fisiologik yang sebenarnya yaitu berkurangnya respons terhadap stimulasi yang datang ([Li, Zhang, Wan, Wilde, & Shan, 2016](#)). Ketika terjadi kelelahan maka pemain akan sulit mengatur dan mengontrol arah pergerakan laju *shuttlecock*. Kecepatan rotasi dari sendi bahu pada gerakan *internal shoulder rotation*, sendi lengan gerakan wrist *palmar flexion* serta sendi lengan bagian atas gerakan *forearm supination* memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap kecepatan *shuttlecock* pada saat melakukan *overhead jumping smash* dalam permainan bulutangkis.

Saran

Setelah dilakukan analisa kajian secara komprehensif dari karakteristik teknik pukulan *overhead jumping smash* disarankan agar diberikan latihan beban khusus kepada pemain pada sendi bahu terutama

gerakan *shoulder internal external rotation, wrist flexion extension, elbow flexion extension* dan *forearm pronation-supination*. Tujuan dari pemberian latihan beban secara khusus tersebut bertujuan untuk meningkatkan kekuatan dan power pada bahu, lengan, dan pergelangan tangan.

REFERENSI

- Abián, P., Castanedo, A., Feng, X. Q., Sampedro, J., & Abian-Vicen, J. (2014). Notational comparison of men's singles badminton matches between Olympic Games in Beijing and London. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 14(1), 42-53. <https://doi.org/10.1080/24748668.2014.11868701>
- Alcock, A., & Cable, N. T. (2009). A comparison of singles and doubles badminton: heart rate response, player profiles and game characteristics. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 9(2), 228-237. <https://doi.org/10.1080/24748668.2009.11868479>
- Aragónés, D., Eekhoff, A., Horst, F., & Schöllhorn, W. I. (2018). Fatigue-related changes in technique emerge at different timescales during repetitive training. *Journal of sports sciences*, 36(11), 1296-1304. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1374758>
- Gawin, W., Beyer, C., & Seidler, M. (2015). A competition analysis of the single and double disciplines in world-class badminton. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 997-1006. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868846>
- Gordon, B. J., & Dapena, J. (2006). Contributions of joint rotations to racquet speed in the tennis serve. *Journal of sports sciences*, 24(1), 31-49. <https://doi.org/10.1080/02640410400022045>
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of sports sciences*, 20(4), 301-310. <https://doi.org/10.1080/026404102753576071>
- Lam, W. K., Ding, R., & Qu, Y. (2017). Ground reaction forces and knee kinetics during single and repeated badminton lunges. *Journal of sports sciences*, 35(6), 587-592. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1180420>
- Li, S., Zhang, Z., Wan, B., Wilde, B., & Shan, G. (2017). The relevance of body positioning and its training effect on badminton smash. *Journal of sports sciences*, 35(4), 310-316. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1164332>

- Mansec, Y.L., Pageaux, B., Nordez, A., Dorel, S., & Jubeau, M. (2018). Mental fatigue alters the speed and the accuracy of the ball in table tennis. *Journal of Sports Sciences*, 36, 2751 - 2759. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1418647>
- Mei, Q., Gu, Y., Fu, F., & Fernandez, J. (2017). A biomechanical investigation of right-forward lunging step among badminton players. *Journal of sports sciences*, 35(5), 457-462. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1172723>
- Ooi, C. H., Tan, A., Ahmad, A., Kwong, K. W., Sompong, R., Mohd Ghazali, K. A., & Thompson, M. W. (2009). Physiological characteristics of elite and sub-elite badminton players. *Journal of sports sciences*, 27(14), 1591-1599. <https://doi.org/10.1080/02640410903352907>
- Reid, M., Giblin, G., & Whiteside, D. (2015). A kinematic comparison of the overhand throw and tennis serve in tennis players: How similar are they really?. *Journal of Sports Sciences*, 33(7), 713-723. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.962572>
- Rusdiana, A. (2016). Running speed device development using a microcontroller with a computer system interface. *International Journal of Control and Applications*, 9(28), 01-18.
- Sakurai, S., & Ohtsuki, T. (2000). Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *Journal of sports sciences*, 18(11), 901-914. <https://doi.org/10.1080/026404100750017832>
- Phomsoupha, M., & Laffaye, G. (2014). Shuttlecock velocity during a smash stroke in badminton evolves linearly with skill level. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 17 Suppl 1, 140–141. <https://doi.org/10.1080/10255842.2014.931550>
- Wagner, H., Pfusterschmied, J., Von Duvillard, S. P., & Müller, E. (2012). Skill-dependent proximal-to-distal sequence in team-handball throwing. *Journal of Sports Sciences*, 30(1), 21-29. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.617773>