

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN PRODUK TERAPAN



**RANCANG BANGUN ROBOT TANGAN UNTUK
PENYANDANG DISABILITAS AKIBAT STROKE**

*Development of hand exoskeleton for rehabilitation of paralyzed
patients following stroke*

Tahun ke-1 dari rencana 3 tahun

TIM PENGUSUL :

Ketua:

Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D 0005047804

Anggota:

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko 0001126311

Ahmad Adib Rosyadi, S.T., M.T. 0017018503

UNIVERSITAS JEMBER
OKTOBER 2017

RINGKASAN

Teknologi robot tangan yang mampu mendeteksi kehendak pengguna terbukti efektif dalam proses rehabilitasi pasien disabilitas pasca serangan stroke. Bahkan, teknologi robot tangan ini sudah pada tingkat komersialisasi. Sayangnya, harga komersial robot tangan ini sangat mahal dan tidak terjangkau oleh mayoritas penduduk Indonesia. Padahal, penderita stroke di Indonesia cukup tinggi, bahkan nomer dua di Asia. Oleh karena itu, tujuan umum penelitian ini adalah membuat rancang bangun robot tangan yang terjangkau oleh mayoritas rakyat Indonesia dengan tingkat kehandalan yang tidak jauh berbeda dengan yang telah dijual dipasaran. Tujuan khusus dari penelitian adalah rancang bangun robot baru dengan bahan terjangkau serta metode sistem kendali robot baru yang mampu mendeteksi keinginan pengguna untuk menggerakkan tangan menggunakan sinyal otot / *electromyography* (EMG). Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian ini akan dilaksanakan dalam waktu tiga tahun. Target tahun pertama adalah membuat mekanik dan elektronik dari robot serta sistem kendali robot yang mampu mengikuti keinginan pengguna untuk gerak tangan membuka dan menutup. Penelitian ini telah menghasilkan robot tangan yang dapat digunakan untuk proses terapi pasien stroke menggunakan akrilik. Bagian yang paling mahal adalah motor penggerak masing-masing jari dan sensor aktifitas otot. Namun demikian, secara keseluruhan masih murah dibandingkan dengan produk luar negeri. Robot ini bekerja dengan dua mode yaitu mode full-assist yaitu robot sepenuhnya menggerakkan tangan pengguna tanpa intervensi dari pengguna. Ini cocok bagi pasien dengan sinyal otot yang sangat lemah yang umumnya terjadi pada kebanyakan orang stroke. Mode kedua adalah adanya peran pengguna yang diperoleh dari sistem pendeteksi keinginan. Sistem pendeteksian keinginan untuk menggenggam dan tidak menggenggam telah dilakukan dengan tingkat kekuatan genggam yang berbeda yaitu kuat, sedang dan lemah. Akurasi sistem untuk kekuatan penuh dan sedang mampu mencapai akurasi di atas 80% yaitu berturut-turut 85% dan 81%. Hanya saja untuk kekuatan lemah, akurasinya masih di bawah 80%. Hasil penelitian telah diseminarkan pada seminar internasional terindeks Scopus yaitu EECSI 2017. Draft jurnal telah disubmit pada *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, jurnal internasional bereputasi terindeks Scopus Q2. Draft paten dan draft buku ajar juga telah dihsaikan.

Kata kunci: Robot tangan, EMG, stroke

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah subhanahu wata'ala yang atas perkenanNya, laporan akhir ini bisa diselesaikan. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kemenristekdikti yang telah memberikan kepercayaan kepada kami sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Universitas Jember yang telah membantu kami dalam melaksanakan penelitian ini. Ada tiga mahasiswa yang terlibat membantu penelitian ini. Kami mengucapkan terima kasih atas partisipasinya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

Penulis menyadari bahwa laporan akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diperlukan untuk perbaikan laporan akhir ini di kemudian hari. Semoga hasil penelitian ini dapat kami lanjutkan pada tahun-tahun berikutnya. Pada akhirnya, semoga hasil akhir penelitian ini dapat bermanfaat bagi rakyat Indonesia. Amin.

Jember, Oktober 2017

Penulis

DAFTAR ISI

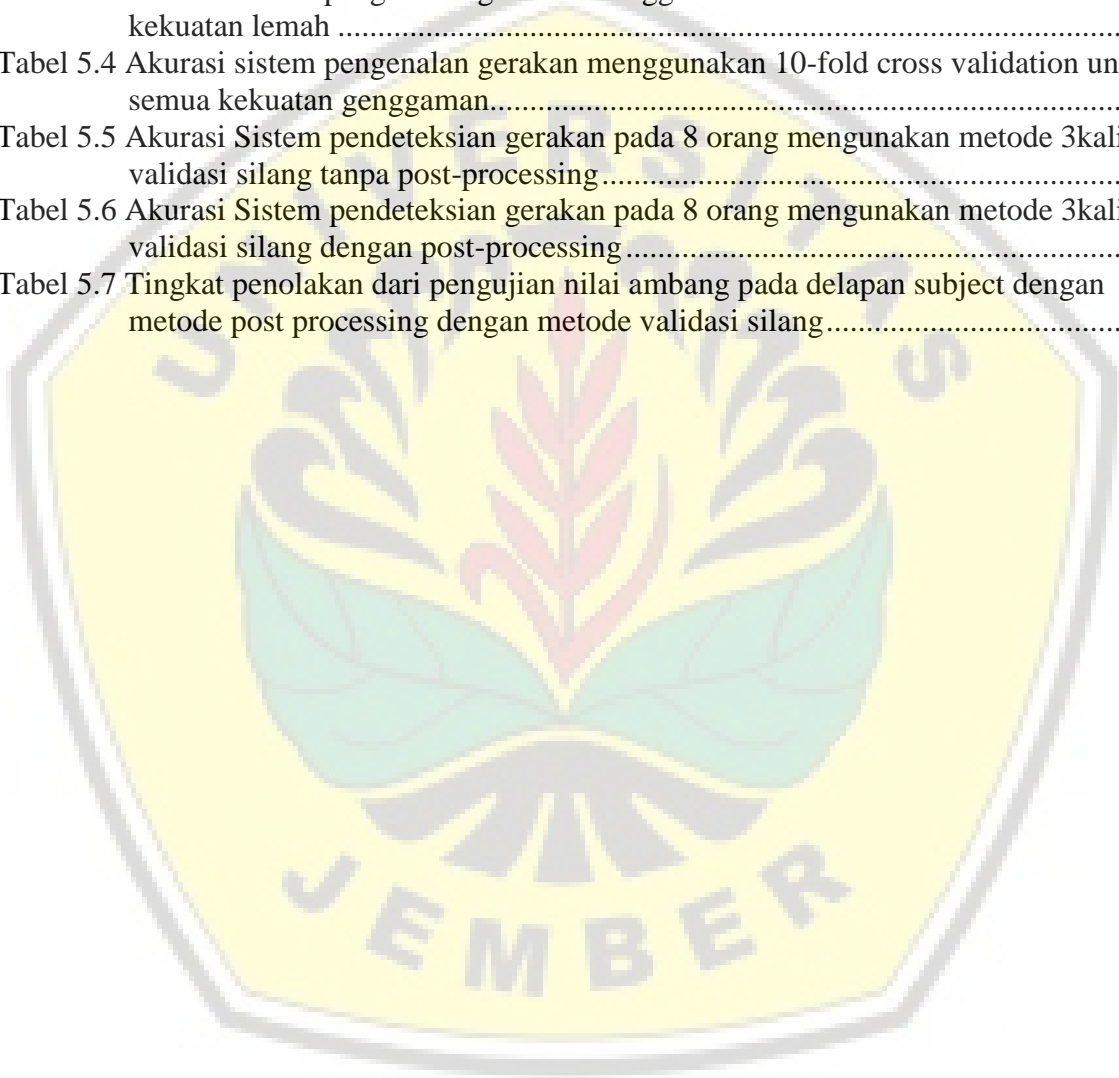
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN.....	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. Pendahuluan	3
2.2. Robot eksoskeleton.....	5
2.3. State-of-the-art Robot tangan berbasis EMG	7
2.3.1. Robot tangan Mulas (Mulas, Folgheraiter, & Gini, 2005)	7
2.3.2. Wege’s exoskeleton hand (Wege & Zimmermann, 2007).....	8
2.3.3. Tong’s exoskeleton (Ho et al., 2011)	9
2.3 Studi pendahuluan dan hasil.....	11
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN.....	13
3.1 Tujuan.....	13
3.2 Manfaat penelitian.....	13
BAB 4. METODE PENELITIAN	14
4.1 Desain Sistem Robot untuk Terapi Stroke	14
4.2 Perancangan Robot tangan	15
4.2.1 Desain Mekanik.....	15
4.3 Pengambilan data EMG.....	21
BAB 5. HASIL YANG DICAPAI	23
5.1 Robot tangan.....	23
5.2 Data hasil Penelitian.....	24
5.2.1 Data Sinyal EMG	24
5.2.1.1 Kekuatan Penuh.....	24
5.2.1.2 Kekuatan Sedang	26
5.2.1.3 Kekuatan lemah	27
5.2.2 Perbaikan Sinyal EMG.....	28
5.2.3 Pengujian Sistem Kontrol untuk Robot.....	29

5.2.3.1	Pengenalan gerakan tangan dengan RBF-ELM	29
5.2.3.2	Pengenalan gerakan tangan dengan RBF-ELM dengan mekanisme rejection 34	
5.3	Diskusi dan saran.....	35
5.4	Luaran yang dihasilkan	35
BAB 6.	RENCANA SELANJUTNYA	37



DAFTAR TABEL

Tabel 5.1 Akurasi sistem pengenalan gerakan menggunakan 10-fold cross validation untuk kekuatan penuh	30
Tabel 5.2 Akurasi sistem pengenalan gerakan menggunakan 10-fold cross validation untuk kekuatan sedang	31
Tabel 5.3 Akurasi sistem pengenalan gerakan menggunakan 10-fold cross validation untuk kekuatan lemah	32
Tabel 5.4 Akurasi sistem pengenalan gerakan menggunakan 10-fold cross validation untuk semua kekuatan gengaman.....	33
Tabel 5.5 Akurasi Sistem pendeteksian gerakan pada 8 orang menggunakan metode 3kali validasi silang tanpa post-processing.....	34
Tabel 5.6 Akurasi Sistem pendeteksian gerakan pada 8 orang menggunakan metode 3kali validasi silang dengan post-processing.....	34
Tabel 5.7 Tingkat penolakan dari pengujian nilai ambang pada delapan subject dengan metode post processing dengan metode validasi silang.....	35



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Robot tangan dari Mulas.....	7
Gambar 2.2. Penempatan elektrode	8
Gambar 2.3. The wege's exoskeleton hand.....	8
Gambar 2.4: Penempatan elektrode pada tangan.....	9
Gambar 2.5: Mechanical design of Tong's exoskeleton hand.....	9
Gambar 2.6: The Tong's exoskeleton hand.....	10
Gambar 2.7 The electrode placement for the Tong's exoskeleton hand	10
Gambar 2.8 Robot "Hand of hope" yang ada telah dikomersialisasi	11
Gambar 4.1. Tahapan penelitian.....	14
Gambar 4.2 Desain Sistem Robot.....	15
Gambar 4.3. Desain Rancangan Jari-jari robot tangan	15
Gambar 4.4. Rancangan robot tangan secara keseluruhan	16
Gambar 4.5. MyoWare™ Muscle Sensor untuk akuisisi sinyal EMG.....	16
Gambar 4.6. Arduino UNO sebagai pengendali robot tangan.....	17
Gambar 4.7. Motor linear L12 untuk menggerakkan jari-jari robot tangan	17
Gambar 4.8 Sistem Kontrol Robot menggunakan simulink Matlab	17
Gambar 4.9. Full assist control (FAS) bagi orang yang yang tidak ada atau lemah sinyal EMG	18
Gambar 4.10 Mode kendali robot berdasarkan sinyal EMG	18
Gambar 4.11 Sistem kontrol mioelektrik yang digunakan untuk mengontrol eksoskeleton	19
Gambar 4.12 Pengenalan pola dengan mekanisme penolakan menggunakan RBF-ELM ..	20
Gambar 4.13 Penempatan sensor	21
Gambar 4.14 Aplikasi yang dibuat di Matlab untuk pengambilan data	21
Gambar 5.1 Rangka Robot tangan.....	23
Gambar 5.2 Robot tangan beserta motor penggeraknya dan rangkain elektroniknya.....	23
Gambar 5.3 Sinyal EMG kekuatan penuh subyek S1 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	24
Gambar 5.4 Sinyal EMG kekuatan penuh subyek S7 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	25
Gambar 5.5 Sinyal EMG kekuatan penuh subyek S8 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	25
Gambar 5.6 Sinyal EMG kekuatan penuh subyek S9 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	25
Gambar 5.7 Sinyal EMG kekuatan sedang subyek S1 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	26
Gambar 5.8 Sinyal EMG kekuatan sedang subyek S7 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	26
Gambar 5.9 Sinyal EMG kekuatan sedang subyek S8 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	26
Gambar 5.10 Sinyal EMG kekuatan sedang subyek S9 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	27
Gambar 5.11 Sinyal EMG kekuatan lemah subyek S1 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	27
Gambar 5.12 Sinyal EMG kekuatan lemah subyek S7 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	27

Gambar 5.13 Sinyal EMG kekuatan lemah subyek S8 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	28
Gambar 5.14 Sinyal EMG kekuatan lemah subyek S9 untuk channel 1 (atas) dan channel 2 (bawah) dari 6 percobaan	28
Gambar 5.15 Sinyal EMG (atas) and sinyal RMS dari EMG (bawah) dari subyek S1	28
Gambar 5.16 Sinyal EMG (atas) and sinyal RMS dari EMG (bawah) dari subyek S7	29
Gambar 5.17 Sinyal EMG (atas) and sinyal RMS dari EMG (bawah) dari subyek S8	29
Gambar 5.18 Sinyal EMG (atas) and sinyal RMS dari EMG (bawah) dari subyek S9	29
Gambar 5.19 Variasi nilai ambang untuk penolakan output RBF-ELM tanpa post-processing	34



REFERENSI

- Akdoğan, E., & Adli, M. A. (2011). The design and control of a therapeutic exercise robot for lower limb rehabilitation: Physiotherobot. *Mechatronics*, 21(3), 509-522.
- Ambar, R., Ahmad, M., & Abdul Jamil, M. (2011). Design and Development of a Multi-sensor Monitoring Device for Arm Rehabilitation. *International Journal of Integrated Engineering*, 3(2).
- Anam, K., & Al-Jumaily, A. (2014a). *Adaptive Wavelet Extreme Learning Machine (AW-ELM) for Index Finger Recognition Using Two-Channel Electromyography*. Paper presented at the Neural Information Processing.
- Anam, K., & Al-Jumaily, A. (2014b, 17-20 Feb. 2014). *Swarm-based extreme learning machine for finger movement recognition*. Paper presented at the Proc. Middle East Conf. Biomedical Engineering (MECBME).
- Anam, K., Al Jumaily, A., & Maali, Y. (2014). Index Finger Motion Recognition using Self-Advise Support Vector Machine. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 7(2), 644-657.
- Anam, K., Khushaba, R., & Al-Jumaily, A. (2013, Aug). *Two-channel surface electromyography for individual and combined finger movements*. Paper presented at the Proceeding of the 35th Annual International IEEE Engineering Medicine and Biology Society Conference (EMBC).
- Balasubramanian, S., Ruihua, W., Perez, M., Shepard, B., Koeneman, E., Koeneman, J., & Jiping, H. (2008, 25-27 Aug. 2008). *RUPERT: An exoskeleton robot for assisting rehabilitation of arm functions*. Paper presented at the Virtual Rehabilitation.
- Banala, S. K., Kim, S. H., Agrawal, S. K., & Scholz, J. P. (2009). Robot assisted gait training with active leg exoskeleton (ALEX). *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 17(1), 2-8.
- Barrett, C. L., Mann, G. E., Taylor, P. N., & Strike, P. (2009). A randomized trial to investigate the effects of functional electrical stimulation and therapeutic exercise on walking performance for people with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis* (13524585), 15(4), 493-504.
- Brault, M. W. (2008). *Americans With Disabilities: 2005*. Retrieved from
- Cai, D., He, X., & Han, J. (2008). SRDA: An efficient algorithm for large-scale discriminant analysis. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20(1), 1-12.
- Chan, A. D. C., & Green, G. C. (2007, M0100). *Myoelectric control development toolbox*. Paper presented at the Proceeding of the 30th Conference of Canadian Medical and Biological Engineering Society (CMBES).
- Cloud, W. (1965). Man amplifiers: Machines that let you carry a ton. *Popular Science*, 187(5), 70-73&204.
- de Araújo, R. C., Tucci, H. T., de Andrade, R., Martins, J., Bevilaqua-Grossi, D., & de Oliveira, A. S. (2009). Reliability of electromyographic amplitude values of the upper limb muscles during closed kinetic chain exercises with stable and unstable surfaces. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), 685-694. doi:10.1016/j.jelekin.2007.11.014
- Dunne, A., Son, D.-L., Laighin, G. O., Chia, S., & Bonato, P. (2010, Aug. 31 2010-Sept. 4 2010). *Upper extremity rehabilitation of children with cerebral palsy using accelerometer feedback on a multitouch display*. Paper presented at the

- Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE.
- Ewing, I. (2010). Disability, Ageing And Carers, Australia: Summary Of Findings, 2009. In A. B. o. Statistics (Ed.), (pp. 40). Canberra: Australian Bureau of Statistics.
- Farmer, M., & Macleod, F. (2011). Involving Disabled People in Social Research : Guidance by the Office for Disability Issues. In (pp. 7): The Office for Disability Issues UK.
- Farris, R. J., Quintero, H. A., & Goldfarb, M. (2011). Preliminary Evaluation of a Powered Lower Limb Orthosis to Aid Walking in Paraplegic Individuals. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 19(6), 652-659.
- Fernandes, L., Storheim, K., Nordsletten, L., & Risberg, M. A. (2010). Development of a therapeutic exercise program for patients with osteoarthritis of the hip. *Physical Therapy*, 90(4), 592-601.
- Flynn, K. E., Piña, I. L., Whellan, D. J., Lin, L., Blumenthal, J. A., Ellis, S. J., . . . Kitzman, D. W. (2009). Effects of exercise training on health status in patients with chronic heart failure. *JAMA: the journal of the American Medical Association*, 301(14), 1451.
- Fowler, R., Jenkins, S., Maiorana, A., Gain, K., O'Driscoll, G., & Gabbay, E. (2011). Australian perspective regarding recommendations for physical activity and exercise rehabilitation in pulmonary arterial hypertension. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 4, 451.
- Frisoli, A., Bergamasco, M., Carboncini, M. C., & Rossi, B. (2009). Robotic assisted rehabilitation in virtual reality with the L-EXOS. *Advanced Technologies in Rehabilitation*, 145, 40-54.
- Gopura, R. A. R. C., Kiguchi, K., & Yang, L. (2009, 10-15 Oct. 2009). *SUEFUL-7: A 7DOF upper-limb exoskeleton robot with muscle-model-oriented EMG-based control*. Paper presented at the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).
- Gupta, A., & O'Malley, M. K. (2006). Design of a haptic arm exoskeleton for training and rehabilitation. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 11(3), 280-289. doi:10.1109/tmech.2006.875558
- Hall, C. M., & Brody, L. T. (2004). *Therapeutic Exercise: Moving Toward Function* (Second ed.). London: Lippincott Williams & Wilkins.
- Hawkins, D., Houreld, N., & Abrahamse, H. (2005). Low Level Laser Therapy (LLLT) as an Effective Therapeutic Modality for Delayed Wound Healing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1056(1), 486-493. doi:10.1196/annals.1352.040
- Ho, N. S. K., Tong, K. Y., Hu, X. L., Fung, K. L., Wei, X. J., Rong, W., & Susanto, E. A. (2011, June 29 2011-July 1 2011). *An EMG-driven exoskeleton hand robotic training device on chronic stroke subjects: Task training system for stroke rehabilitation*. Paper presented at the Proc. IEEE Int. Conf. Rehabilitation Robotics (ICORR).
- Hu, X. L., Tong, K. Y., Wei, X. J., Rong, W., Susanto, E. A., & Ho, S. K. (2013). The effects of post-stroke upper-limb training with an electromyography (EMG)-driven hand robot. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(5), 1065-1074.
- Itoh, K., & Yamada, A. (2006). Personalized peptide vaccines: A new therapeutic modality for cancer. *Cancer Science*, 97(10), 970-976. doi:10.1111/j.1349-7006.2006.00272.x
- Jezernik, S., Colombo, G., Keller, T., Frueh, H., & Morari, M. (2003). Robotic orthosis Lokomat: a rehabilitation and research tool. *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 6(2), 108-115.

- Jull, G. A., Falla, D., Vicenzino, B., & Hodges, P. W. (2009). The effect of therapeutic exercise on activation of the deep cervical flexor muscles in people with chronic neck pain. *Manual Therapy, 14*(6), 696-701. doi:10.1016/j.math.2009.05.004
- Katz, T. M., Goldberg, L. H., & Friedman, P. M. (2009). Fractional Photothermolysis: A New Therapeutic Modality for Xanthelasma. *Arch Dermatol, 145*(10), 1091-1094. doi:10.1001/archdermatol.2009.234
- Klein, J., Spencer, S. J., Allington, J., Minakata, K., Wolbrecht, E. T., Smith, R., . . . Reinkensmeyer, D. J. (2008, 19-22 Oct. 2008). *Biomimetic orthosis for the neurorehabilitation of the elbow and shoulder (BONES)*. Paper presented at the 2nd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics (BioRob).
- Kruse, R. L., LeMaster, J. W., & Madsen, R. W. (2010). Fall and Balance Outcomes After an Intervention to Promote Leg Strength, Balance, and Walking in People With Diabetic Peripheral Neuropathy: "Feet First" Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy, 90*(11), 1568-1579.
- Kyoungchul, K., & Doyoung, J. (2006). Design and control of an exoskeleton for the elderly and patients. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 11*(4), 428-432.
- Lau, R., & Pang, M. (2009). An assessment of the osteogenic index of therapeutic exercises for stroke patients: relationship to severity of leg motor impairment. *Osteoporosis International, 20*(6), 979-987. doi:10.1007/s00198-008-0773-1
- Letier, P., Motard, E., & Verschuere, J. P. (2010, 3-7 May 2010). *EXOSTATION: Haptic exoskeleton based control station*. Paper presented at the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA).
- Low, K. H. (2011, 3-5 Aug. 2011). *Robot-assisted gait rehabilitation: From exoskeletons to gait systems*. Paper presented at the Defense Sci. Research Conf. and Expo (DSR).
- Maltais, F., Bourbeau, J., Shapiro, S., Lacasse, Y., Perrault, H., Baltzan, M., . . . Bernard, S. (2008). Effects of home-based pulmonary rehabilitation in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized trial. *Annals Of Internal Medicine, 149*(12), 869-878.
- Mosher, R. S., & Engineers, S. o. A. (1967). *Handyman to hardiman: Society of Automotive Engineers*.
- Mulas, M., Folgheraiter, M., & Gini, G. (2005, 28 June-1 July 2005). *An EMG-controlled exoskeleton for hand rehabilitation*. Paper presented at the Proc. 9th Int. Conf. Rehabilitation Robotics ICORR.
- Nef, T., Guidali, M., & Riener, R. (2009). ARMin III—arm therapy exoskeleton with an ergonomic shoulder actuation. *Applied Bionics and Biomechanics, 6*(2), 127-142.
- Perry, J. C., Rosen, J., & Burns, S. (2007). Upper-Limb Powered Exoskeleton Design. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 12*(4), 408-417.
- Pons, J. L. (2008). *Wearable robots: biomechatronic exoskeletons* (Vol. 70): Wiley Online Library.
- Prange, G. B., Jannink, M. J. A., Groothuis-Oudshoorn, C. G. M., Hermens, H. J., & IJzerman, M. J. (2006). Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *Journal of rehabilitation research and development, 43*(2), 171.
- Rehab-robotics. (2016). Hand of Hope.
- Riener, R. (2012). Technology of the Robotic Gait Orthosis Lokomat. *Neurorehabilitation Technology, 221*.
- Rocon, E., Belda-Lois, J. M., Ruiz, A. F., Manto, M., Moreno, J. C., & Pons, J. L. (2007). Design and Validation of a Rehabilitation Robotic Exoskeleton for Tremor

- Assessment and Suppression. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15(3), 367-378.
- Sanchez, R. J., Jr., Wolbrecht, E., Smith, R., Liu, J., Rao, S., Cramer, S., . . . Reinkensmeyer, D. J. (2005, 28 June-1 July 2005). *A pneumatic robot for re-training arm movement after stroke: rationale and mechanical design*. Paper presented at the 9th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR).
- Sankai, Y. (2011). HAL: Hybrid Assistive Limb Based on Cybernetics Robotics Research. In M. Kaneko & Y. Nakamura (Eds.), (Vol. 66, pp. 25-34): Springer Berlin / Heidelberg.
- Scarfe, A. C., Li, F. X., Reddin, D. B., & Bridge, M. W. (2011). A New Progression Scale for Common Lower-Limb Rehabilitation Tasks. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 612.
- Schlogl, A., & Brunner, C. (2008). BioSig: a free and open source software library for BCI research. *Computer*, 41(10), 44-50.
- SCHMEISSER, G., & SEAMONE, W. (1973). An upper limb prosthesis-orthosis power and control system with multi-level potential. *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)*, 55(7), 1493-1501.
- Takahashi, C. D., Der-Yeghiaian, L., Le, V., Motiwala, R. R., & Cramer, S. C. (2008). Robot-based hand motor therapy after stroke. *Brain*, 131(2), 425-437.
- Tawashy, A. E., Eng, J. J., Krassioukov, A. V., Miller, W. C., & Sproule, S. (2010). Aerobic Exercise During Early Rehabilitation for Cervical Spinal Cord Injury. *Physical Therapy*, 90(3), 427-437.
- Tong, K., Ho, S., Pang, P., Hu, X., Tam, W., Fung, K., . . . Chen, M. (2010). *An intention driven hand functions task training robotic system*. Paper presented at the The 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC).
- Unluhisarcikli, O., Pietrusinski, M., Weinberg, B., Bonato, P., & Mavroidis, C. (2011, 25-30 Sept. 2011). *Design and control of a robotic lower extremity exoskeleton for gait rehabilitation*. Paper presented at the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).
- van Asseldonk, E. H. F., & van der Kooij, H. (2012). Robot-Aided Gait Training with LOPES. *Neurorehabilitation Technology*, 379.
- Veneman, J. F., Kruidhof, R., Hekman, E. E. G., Ekkelenkamp, R., Van Asseldonk, E. H. F., & van der Kooij, H. (2007). Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 15(3), 379-386.
- Vukobratovic, M., Hristic, D., & Stojiljkovic, Z. (1974). Development of active anthropomorphic exoskeletons. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 12(1), 66-80.
- Waller, B., Lambeck, J., & Daly, D. (2009). Therapeutic aquatic exercise in the treatment of low back pain: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 23(1), 3-14.
- Wege, A., & Zimmermann, A. (2007, 15-18 Dec. 2007). *Electromyography sensor based control for a hand exoskeleton*. Paper presented at the Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics, ROBIO
- WHO. (2001). The UN Standard Rules on the Equalization of Opportunities for Persons with Disabilities. *II. Main Report, WHO/DAR/01.2*, 290.
- Yamamoto, K., Hyodo, K., Ishii, M., & Matsuo, T. (2002). Development of power assisting suit for assisting nurse labor. *JSME International Journal Series C*, 45(3), 703-711.

- Yang, C., Zhang, J., Chen, Y., Dong, Y., & Zhang, Y. (2008). A review of exoskeleton-type systems and their key technologies. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 222(8), 1599-1612.
- Yastroki. (2007). Angka Kejadian Strokre Meningkat Tajam. Retrieved from <http://www.yastroki.or.id/read.php?id=317>
- Yin, Y., Fan, Y., & Xu, L. (2012). EMG & EPP-Integrated Human-machine Interface between the Paralyzed and Rehabilitation Exoskeleton. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, PP(99), 1-1.
- Yupeng, R., Hyung-Soon, P., & Li-Qun, Z. (2009, 23-26 June 2009). *Developing a whole-arm exoskeleton robot with hand opening and closing mechanism for upper limb stroke rehabilitation*. Paper presented at the 2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics.
- Zoss, A. B., Kazerooni, H., & Chu, A. (2006). Biomechanical design of the Berkeley lower extremity exoskeleton (BLEEX). *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 11(2), 128-138.

