

Sinyal Elektrik untuk Memperkaya Pengendalian Robot Jarak Jauh

Daniel S Pamungkas
Politeknik Negeri Batam
Jl Ahmad Yani, Batam Center, Batam, Indonesia, 29432
daniel@polibatam.ac.id

Abstrak— Seorang operator dapat mengendalikan robot dari tempat yang jauh, memungkinkan robot bekerja ditempat yang berbahaya serta tidak dapat dijangkau oleh manusia. Untuk mengendalikan robot lebih baik lagi, beberapa peneliti telah menambahkan informasi yang bisa didapatkan oleh operator selain informasi visual. Salah satu bentuk informasi tersebut adalah informasi yang diberikan pada kulit. Tujuannya adalah membuat operator untuk menyatu dengan robot yang diaturnya. Beberapa sistem menggunakan sistem mekanik, namun sistem ini rumit, menghalangi gerak dari operator. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem yang lebih sederhana dengan menggabungkan informasi visual tiga dimensi dengan sinyal elektrik. Sistem ini diuji untuk menyelesaikan tugas pada robot tangan dan robot mobil. Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa sistem ini dapat membuat operator mengendalikan robot dengan lebih baik.

Kata kunci: *Sinyal elektrik, sinyal informasi, kendali robot jarak jauh*

Abstract—A remote control operator enabling a robot to perform in a hazard or the area which can not be reached by humans. To control the robot, several researchers have equipped a robot with a system which can give others types of feedback information, besides of visual feedback from the robot. One of the types of the feedback is haptic feedback. The aim of this feedback is to make the operator become immersed with the robot. The existing researchers are using electro-mechanics system. however these systems are complex, bulky, and hence prevent a seamless embodiment between an operator's body. The objective of this research is to develop a haptic feedback system combine with stereo vision feedback which compact, versatile and easy to fit. This system is tested to accomplish the task using mobile robot and robot arm. The result shows that this system can help the operator to control robot better.

Keywords: *Electro-tactile feedback, feedback informations, teleoperation*

I. PENDAHULUAN

Beberapa aplikasi dari pengendalian jarak jauh diantaranya adalah eksplorasi luar angkasa [1], penyelaman dasar laut [2], operasi dari jarak jauh [3] dan dibidang pertambangan [4]. Pengendalian robot jarak jauh tersebut memerlukan informasi dari robot dan atau lingkungan di sekitar robot. Sebagian dari pengendalian robot jarak jauh hanya mengandalkan informasi visual yaitu informasi yang disampaikan melalui kamera dan dilihat oleh operator melalui sebuah layar. Beberapa aplikasi dari pengendalian jarak jauh memerlukan pengendalian yang presisi, yang tidak cukup dengan mengandalkan saja dari informasi visual.

Dalam proses pengoperasian robot dari jarak jauh, diperlukan informasi sehingga operator dapat merasakan apa yang robot rasakan. Seolah olah operator menyatu dengan robot. Untuk menghasilkan perasaan tersebut, maka pengoperasian robot jarak jauh perlu diperkaya oleh sensasi yang dirasakan oleh indra perasa manusia atau yang dikenal

dengan *haptic feedback*. Informasi ini adalah informasi yang diterima oleh kulit pengguna/operator dapat berupa panas [5]. Getaran [6], gaya/tekanan [7], atau sinyal elektrik [8].

Pada aplikasi tele-operasi yaitu sebutan lain dari pengendalian jarak jauh yang menggunakan informasi tekanan/gaya telah terbukti mampu membuat pengguna dapat melakukan operasi dengan lebih baik dan lebih cekatan [3]. Pada aplikasi lain, robot digunakan untuk melakukan pemasangan bagian mekanik dari suatu mesin, informasi *haptic* telah membuat operator dapat melakukan tugas dengan lebih cepat [9]. Namun beberapa sistem yang menggunakan informasi *haptic* menggunakan sistem yang kompleks, rumit, mahal terutama sistem yang menggunakan sistem mekanik.

Untuk menghasilkan informasi gaya/tekanan, sistem mekanikal yang menggunakan katrol dan pemberat digunakan [7]. Katrol akan memberikan gaya pada pinggang pengguna dan tangan yang berhubungan dengan

posisi dari tangan robot. Pada penelitian lain beberapa *servo* motor digunakan untuk menggambarkan berbagai tipe dari informasi *haptic* seperti pengetuk dan pemeran [9]. Selain itu juga vibrator digunakan untuk untuk mengontrol robot [10]. Sistem-sistem tersebut menggunakan sistem mekanikal yang kompleks, dan menyulitkan operator untuk bergerak, sehingga menghalangi operator untuk merasa menyatu dengan robot yang ada di tempat lain.

Untuk mengatasi kelemahan sistem yang menggunakan sistem mekanik, maka sistem yang menggunakan sinyal listrik akan dicoba. Menggunakan sinyal listrik adalah salah satu cara untuk memberikan informasi pada kulit. Sistem ini disebut sebagai *electro-tactile feedback*. Sistem ini hanya menggunakan elektroda yang diletakan dikulit dari pengguna untuk memberikan sensasi atau informasi. Sinyal informasi dapat dimodulasi dengan memvariasikan frekuensi dan amplitudo yang diberikan pada kulit. *Feedback* jenis ini dapat memberikan sensasi yang lebar tanpa membuat jaringan syaraf mati rasa dan rusak [7], [11], [12]. Selain itu juga teknologi ini dapat memberikan informasi dari berbagai jenis sensor. Sinyal ini telah dicoba untuk berbagai aplikasi seperti memperkaya *virtual reality* [13], menambah informasi pada lengan palsu [14], metoda untuk melatih suatu ketrampilan [15].

Pada paper ini akan dibahas bagaimana sensasi elektrikal mampu memperkaya kemampuan pengguna untuk mengoperasikan robot dari jarak jauh. Pada bagian pertama menyediakan beberapa penelitian yang menggunakan informasi *haptic*. Kemudian pada bagian kedua diberikan detail sistem yang digunakan untuk percobaan, Bagian ketiga didemonstrasikan bagaimana *haptic feedback* dapat membantu operator. Sedang pada bab terakhir diberikan kesimpulan

II. SISTEM

A. Pendahuluan

Untuk mendemonstrasikan keefektifan sistem yang dilengkapi dengan sinyal elektrik sebagai informasi tambahan, maka dua buah robot yang dilengkapi dengan berbagai sensor digunakan. Robot pertama adalah robot mobil (gambar 1a) dan sebuah robot tangan CRS A465 (gambar 1b.). Pada mobil robot dilengkapi dengan sebuah kamera stereo, sensor jarak dan sebuah sensor tekanan yang diletakan pada *gripper*. Sedang pada sensor tekanan/gaya (ATI F/T) untuk melengkapi robot arm yang memiliki griper, sedangkan kamera diletakkan di sebelah dari robot tangan tersebut.



a



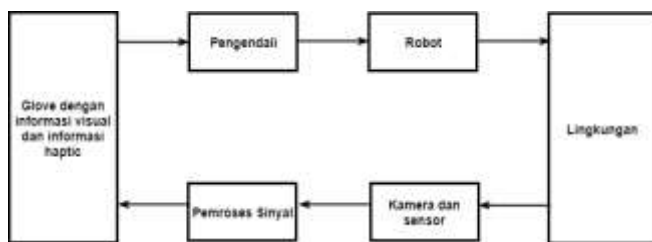
b

Gambar 1. Robot yang digunakan (a) robot mobil (b) robot tangan

Informasi-informasi yang datang dari sensor-sensor tersebut kemudian diubah menjadi sinyal-sinyal elektrik dengan intensitas dan frekuensi yang berbeda-beda dan dikirim pada TENS elektroda yang ditaruh pada P5 glove yang digunakan untuk operator untuk mengontrol robot (gambar 2). Dikombinasikan dengan informasi visual tiga dimensi yang didapat dari kamera stereo *Ovrvision* yang diletakan pada sebuah dudukan yang memiliki dua buah motor servo sehingga dapat bergerak secara 2 DoF (*Degree of Freedom*). Operator dapat melihat informasi visual melalui sebuah *Oculus Rift HMD (Head Mounted Display)*. *Oculust rift* dipakai oleh operator untuk melihat informasi visual sekaligus mengatur gerakan dari motor-motor servo untuk menggerakan kamera. Gerakan dari kamera akan sesuai dengan gerakan kepala dari operator. Untuk mengendalikan robot, digunakan *Glove P5*. Alat ini dapat memberikan informasi posisi yaitu koordinat *x, y* dan *z* dari tangan, juga memberikan informasi *yaw, pitch* dan *roll* dari tangan, selain itu juga gerakan jari dari lengan yang menggunakan *glove* dapat ditentukan. Dengan pengaturan ini maka operator dapat mengatur robot dengan gerakan tangan yang sederhana dan natural. Gambar 3 memperlihatkan blok diagram dari sistem yang akan digunakan.



Gambar 2. Operator menggunakan glove sebagai pengendali, dan sinyal elektrik serta HMD untuk informasi haptic dan visual



Gambar 3 blok diagram dari sistem yang dibangun

B. Robot

Robot mobil yang digunakan mempunyai dua motor untuk mengatur gerakannya dan memiliki satu buah *freewheel* pada bagian depannya. Sebuah *gripper* ditaruh didepan dipergunakan untuk mengambil sebuah kaleng. Pada *gripper* dipasang sebuah *limit switch* untuk mendeteksi keberadaan kaleng. Robot ini memiliki kecepatan maksimum 20 cm/detik. Untuk komunikasi dengan komputer menggunakan sebuah *Xbee wireless*. Kamera 3D beserta motor servo diletakan di atas dari robot untuk memberikan informasi visual. Empat sensor *ultrasonic* diletakkan untuk mendeteksi halangan di sekitar robot. Sensor ini diletakan di depan, belakang dan dikedua sisinya. Untuk percobaan-percobaan ini jarak maksimum yang bisa dibaca oleh sensor ini diatur pada jarak 60cm.

Robot tangan yang digunakan adalah CRS A465. Robot ini memiliki kemampuan bergerak 6 DOF. Robot dilengkapi sebuah sensor ATI F/T (Figure 1b). Sensor ini dapat mengukur gaya tekan dan torsi pada berbagai arah,yaitu. F_x , F_y , F_z , T_x , T_y dan T_z . Pada *gripper* dapat diganti dengan sebuah pemegang, yang dapat memegang berbagai peralatan seperti gerinda dan alat pemotong. Resultan dari hasil sensor diteruskan menjadi sinyal informasi pada elektroda yang terpasang pada P5 glove. Kamera dipasang di sebelah kiri atas dari lengan robot, sehingga dapat dianggap kepala dari operator, dengan robot tangan serupa dengan tangan kanan dari operator.

C. Informasi Visual

Informasi visual yang digunakan terdiri sebuah kamera stereo dan sebuah *headset*. Kamera yang digunakan adalah OVRvision dan *headset* yang dipakai adalah Oculus Rift.

Kombinasi dari keduanya akan menghasilkan delay yang sangat kecil dan dapat menghasilkan gambar tiga dimensi bagi penggunaanya dengan sudut 100 derajat pengelihatan yang hampir sama dengan pengelihatan natural manusia. Gambar 4 memperlihatkan contoh informasi visual tiga dimensi. Selain itu juga *headset* memiliki sensor *gyroscope* untuk mendeteksi gerakan kepala dari pengguna. Gerakan dari kepala pengguna akan diteruskan pada dua buah motor servo yang terdapat pada/dekat robot. Sehingga gerakan kepala pengguna akan selaras dengan gerakan kamera. Sehingga sistem ini akan membantu pengguna untuk menyatu dengan robot dan lingkungan yang ada disekitar robot.

D. Electro-tactile Feedback

Sinyal *haptik* yang diberikan pada operator didapatkan dari sebuah sistem yang dinamakan “*TENS electro tactile feedback*”. Sistem ini menggunakan TENS (*Transcutaneous electrical nerve stimulation*) elektroda yang biasa digunakan untuk terapi syaraf. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen seperti terlihat pada gambar 5. Sistem ini dapat memberikan lim sinyal berbeda yang akan diberikan pada kulit operator, dimana sinyal ini dapat diatur frekuensi dan intensitasnya.

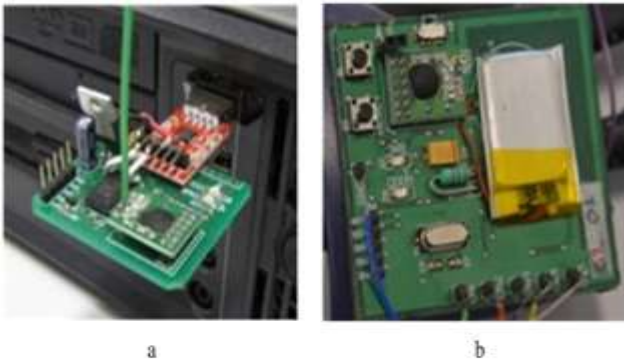
Sistem ini terdiri dari sebuah *transmitter* USB yang terlihat pada gambar 5a dan sebuah unit TENS seperti pada gambar 5b. *Transmitter* akan memancarkan sinyal atau data secara nirkabel dari komputer dan diterima oleh penerima. Penerima akan merubah data menjadi pulsa-pulsa elektronik yang kemudian dikirim pada elektroda yang terdapat pada kulit pengguna.

Elektroda ini diletakan pada bagian dalam dari *Glove* seperti yang akan dijelaskan pada bagian lain. Sinyal ini tidak membuat tangan berkontraksi karena sinyalnya tidak ditujukan pada otot yang terdapat pada kulit operator. Selain itu sinyal ini tidak menyakitkan dan tidak akan berefek pada tangan operator.

Untuk percobaan ini sinyal diatur dengan frekuensi 20Hz. Dimana amplitudo dari sinyal-sinyal ini diatur oleh operator antara 40V sampai 80V disesuaikan dengan keinginan dari operator. Sedangkan intensitas diatur dari lebar pulsa, dimana lebar pulsa bervariasi dari 10 sampai 100µs, tergantung dari sinyal dari sensor pada robot.



Gambar 4. Tampilan visual dari HMD

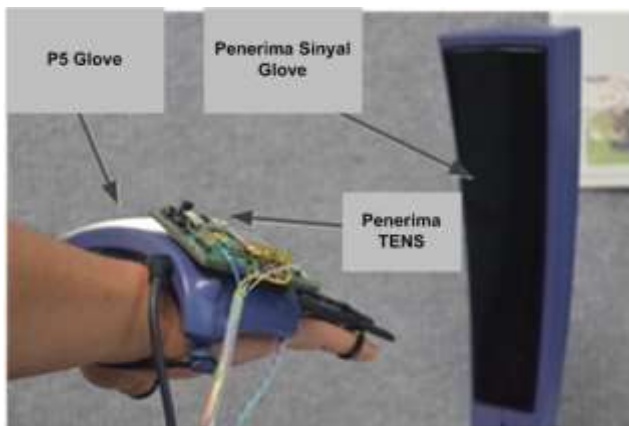


Gambar 5. Sistem *haptic feedback* (a) pengirim (b) penerima

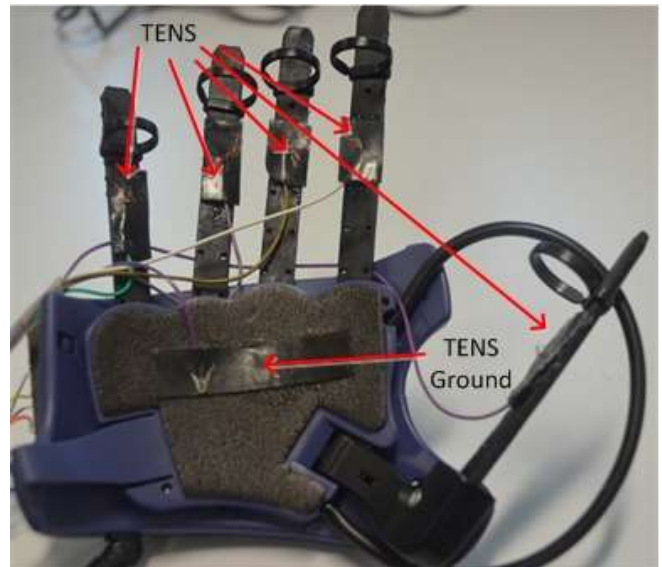
E. Glove

Sebuah P5 Glove yang disisipi oleh elektroda TENS digunakan untuk menggerakkan robot dan memberikan sinyal elektrik pada operator. (gambar 6 & 7). Alat ini memiliki delapan LEDs yang akan dibaca oleh penerimanya. Glove ini akan mengeluarkan x,y,z koordinat dari tangan dan juga orintasi *yaw*, *pitch* dan *roll* dari tangan. Untuk membaca gerakan dari tangan maka tangan harus berada di depan dari penerimanya. Untuk mengontrol dari gerakan motor akan dijelaskan pada bagian eksperimen.

Penerima *elektro tactile feedback* diletakan pada bagian belakang *glove* seperti terlihat pada gambar 6. Keluaran dari transmitter ini akan diteruskan ke elektroda yang terpasang pada bagian dalam dari *glove*. Elektroda dipasang pada bagian jari dan elektroda *ground* dipasang pada bagian tengah lengan. Pengaturan ini membuat elektroda dapat menyentuh kulit dari pengguna. Sinyal elektroda yang digunakan diatur tergantung dari aplikasi yang digunakan.



Gambar 6. glove dengan penerima haptic



Gambar 7. Glove dengan TENS elektroda dibagian dalamnya

III. PERCOBAAN DAN HASIL

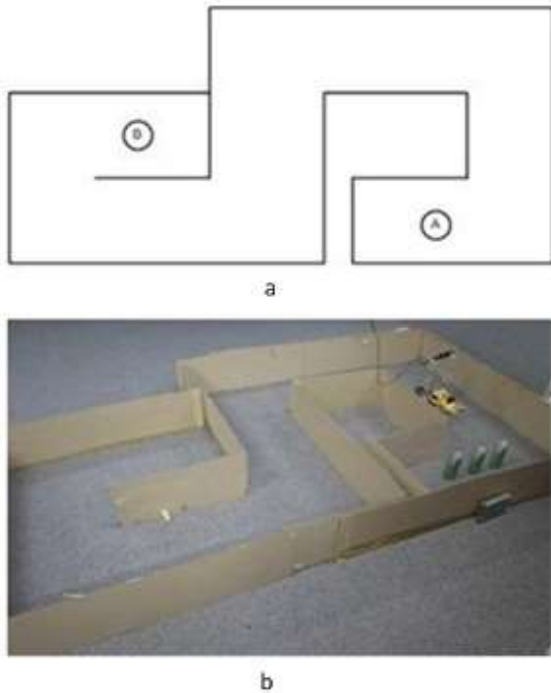
Untuk mendemonstrasikan keefektifan sistem yang dilengkapi sinyal elektrik sebagai sinyal informasi tambahan, dua robot digunakan untuk beberapa eksperimen. Tujuan dari eksperimen ini untuk membuktikan bahwa sistem ini dapat membantu operator untuk mengendalikan robot serta menyelesaikan tugas yang membutuhkan informasi dari indra sentuhan.

A. Mengambil dan Memindahkan Kaleng

Robot beroda digunakan untuk percobaan ini. Percobaan ini dilakukan pada lingkungan tertutup seperti terlihat pada gambar 8. Tujuan dari percobaan ini adalah mengendalikan robot untuk memindahkan kaleng dari titik A ke titik B secepat mungkin tanpa menabrak dinding. *Glove* digunakan untuk mengendalikan robot, dan gerakannya sesuai dengan gerakan robot. Jika ingin berbelok ke kiri maka tangan digulingkan/diputar ke kiri dan sebaliknya jika ingin bergerak ke kanan maka lengan digulingkan ke kanan. Sedangkan jika ingin maju ke depan, maka dengan merubah sudut *pitch* dari tangan ke depan dan sebaliknya merubah sudutnya ke belakang jika ingin bergerak mundur. Untuk menaikan dan menurunkan *gripper* dengan cara menggerakkan jari telunjuk ke atas atau ke bawah, sedangkan untuk menutup *gripper* digunakan jari jempol. Pengaturan ini dibuat supaya sesuai operator dapat menggerakkan robot secara intuitif dan mudah dipelajari.

Informasi dari sensor yang terletak pada robot diteruskan pada elektroda yang teletak pada lengan pengendali. Posisi elektroda digambarkan pada gambar 9. Dengan posisi ini operator akan menerima sinyal dari sensor. Maksimum stimulasi pada kulit akan dirasakan oleh operator jika jarak halangan terdeteksi 3cm dari sensor, sedang minimum yang terdeteksi oleh kulit operator adalah jika halangan terbaca 25cm dari sensor. Hal ini bertujuan agar operator merasakan lingkungan sekitar robot sehingga dapat

menghindari halangan. Sedang informasi mengenai benda pada gripper akan diketahui operator jika sensor pada gripper mendeteksi adanya benda.

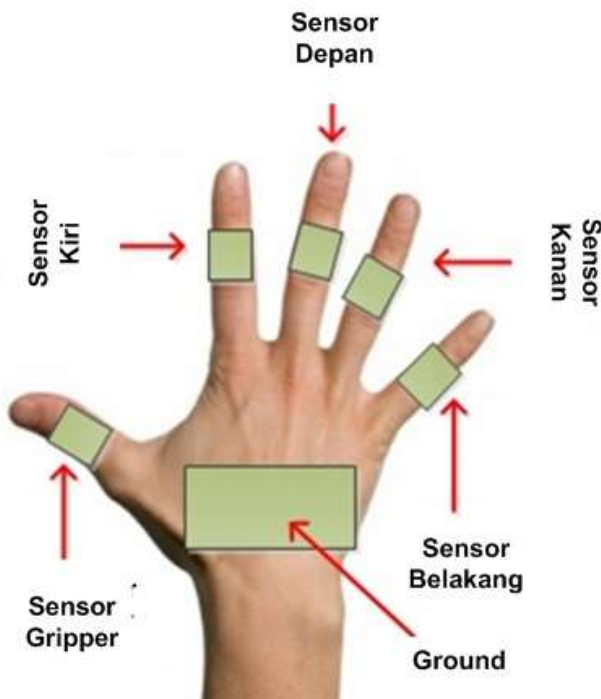


Gambar 8. Set up dari percobaan I

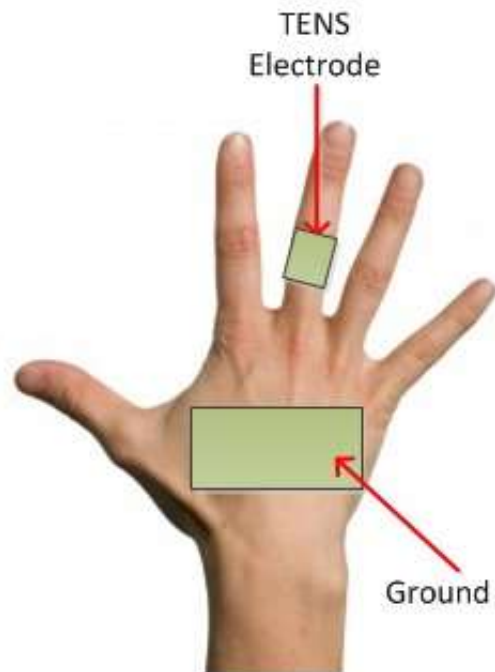
mengulangnya dengan sinyal elektrik, sedang tiga lainnya diminta melakukan sebaliknya. Operator dapat menyelesaikan tugasnya lebih cepat dan lebih sedikit menabrak halangan adalah pada saat mereka menggunakan sinyal elektrik sebagai informasi tambahan. Selain dari itu, semua operator melaporkan bahwa sinyal elektrik membuat mereka lebih bisa merasakan sensasi bahwa mereka berada dalam robot.

B. Memotong benda lunak

Untuk percobaan ini *glove* dipakai untuk mengendalikan robot tangan untuk bergerak sepanjang koordinat x,y dan z. Informasi gaya dari didapat dari jumlah gaya-gaya yang diberikan dari sensor gaya/tekanan yang ada pada robot. Informasi tersebut kemudian diteruskan pada jari tengah operator seperti terlihat pada gambar 10. Sinyal-sinyal elektrik dikalibrasi terlebih dahulu untuk mendapatkan stimulus bernilai nol jika tidak ada kontak antara *tool* dan objek dan akan membesar jika *tool* menekan keras objek. *Tool* pada percobaan ini adalah sebuah pisau pemotong untuk memotong bagian lunak yaitu malam yang diletakan pada bagian atas sebuah kertas yang dilekatkan pada sebuah kayu balsa. Kayu ini direkatkan pada meja seperti terlihat pada gambar. Gambar 11 menunjukkan percobaan yang melibatkan robot lengan untuk memotong bahan yang lunak.



Gambar 9. Elektroda yang dipakai untuk percobaan I



Gambar 10. Elektroda yang dipakai untuk percobaan II

Untuk membuktikan bahwa operator mendapatkan keuntungan dari sinyal tambahan ini, maka operator diminta untuk melakukan dua kali percobaan dengan dan tanpa sinyal elektrik. Enam orang diminta untuk melakukan tugas ini. Tiga diantaranya melakukan percobaan tanpa sinyal informasi elektrik terlebih dahulu kemudian

Tujuan dari sistem ini adalah untuk memotong malam tanpa merusak kertas dan kayu yang ada dibawahnya. Percobaan ini memerlukan keahlian dan juga informasi mengenai tekanan pada objek. Enam orang subjek diminta untuk memotong objek secara lurus, horizontal dan vertikal. Mereka belum pernah mengoperasikan robot dan belum

pernah menggunakan informasi elektrikal. Tiga dari mereka memotong tanpa menggunakan informasi *haptic*, sedang tiga lainnya dilengkapi dengan sinyal *haptic* selain informasi visual tiga dimensi. Hasil yang didapatkan subjek yang melakukan percobaan yang dilengkapi dengan informasi haptik dapat menyelesaikan tugasnya dengan baik dengan jumlah percobaan yang lebih sedikit dibandingkan dengan grup lainnya.



Gambar 11. Set up percobaan II

IV. KESIMPULAN

Pada tulisan ini mempresentasikan sistem pengendalian robot jarak jauh yang terdiri dari robot yang dilengkapi dengan informasi visual dan informasi yang diterima oleh kulit pengguna. Dimana informasi visual adalah informasi visual tiga dimensi serta sensasi yang diterima kulit dari sinyal elektrik. Robot dikendalikan dengan tangan operator, dimana tangan operator dilengkapi dengan sebuah *glove*. Sistem informasi ini lebih sederhana, mudah untuk dibuat, serta tidak menyulitkan operator untuk bergerak dibandingkan dengan sistem informasi yang dibuat dengan menggunakan sistem elektro-mekanik. Dari hasil percobaan, informasi dari sinyal elektrik terbukti mampu membantu operator untuk mengendalikan robot untuk berbagai tugas yang membutuhkan kemampuan khusus dan juga informasi tekanan. Sistem ini juga terbukti menjadi sistem yang serbaguna, dapat digunakan untuk berbagai jenis robot dan juga berbagai tugas.

REFERENSI

- [1] R.J. Terrile and J. Noraky, "Immersive Telepresence as An Alternative For Human Exploration," *Aerospace Conference*, 2012 IEEE, pages 1-11, 2012.
- [2] B.G.Boyle, R.S.McMaster and J.Nixon, "Teleoperation of an Underwater Robotic Repair Sistem Using Graphical Simulation," *Control of Remotely Operated Sistem: Teleassistance and Telepresence, IEE Colloquium on*, Pages 2/1-2/4, London, May 1995
- [3] King, Culjat, Franco, Lewis, "Tactile Feedback Induces Reduced Grasping Force in Robot-Assisted Surgery," *Haptics, IEEE Transactions on 2(2)*: 103-110, 2009.
- [4] Sungsik Huh, Unghui Lee, Hyuncul Shim, Jong-Beong Park, "Development of An Unmanned Coal Mining Robot and A Teleoperation Sistem," *Control, Automation and Sistem (ICCAS)*, 2011 11th International Conference on, pages 31-35, 2011.
- [5] S. Gallo, L. Santos-Carreras, G Rognini, M Hara, "Towards Multimodal Haptics for Teleoperation: Design of A Tactile Thermal Display," *Advanced Motion Control (AMC)*, 2012 12th IEEE International Workshop on, pages 1-5, Sarajevo, March 2012.
- [6] Aaron Bloomfield and Norman I. Badler, "Virtual Training via Vibrotactile Arrays," *Presence: Teleoperators and Virutal Environments 17*: 103-12, April 2008.
- [7] Dongseok Ryu, Chan-Soon Hwang, Sungchul Kang, Mungsang Kim, "Wearable Haptic-based Multi-modal Teleoperation of Field Mobile Manipulator for Explosive Ordnance Disposal," *Safety, Security and Rescue Robotics, Workshop*, 2005 IEEE International. Pages 75-80, Kobe, June 2005.
- [8] Daniel Pamungkas and Koren Ward, "Tele-operation of A Robot Arm With Electro Tactile Feedback," *Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, 2013 IEEE/ASME International Conference on, pages 704-709, Wollongong, 2013.
- [9] J. Wildenbeest, D. Abbink, C. Heemskerk, F. van der Helm, "The Impact of Haptic Feedback Quality on the Performance of Teleoperated Assembly Tasks," *Haptics, IEEE Transactions on*, pages 242-252, 2013.
- [10] Wijnand Ijsselsteijn, "Presence in Depth" Ann Arbor, Technische Universiteit Eindhoven (The Netherlands). C818455: 276-276 p, 2004.
- [11] H. Kajimoto, M Inami, N Kawakami, S Tachi, "SmartTouch - Augmentation of skin Sensation With Electrocutaneous Display," *Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Sistem*, 2003. HAPTICS 2003 Proceedings. 11th Symposium on, pages 40-46, March 2003.
- [12] M. Peruzzini, M.Germani, M. Mengoni, "Electro-Tactile Device for Texture Simulation," *IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Sistem and Applications (MESA)*, pages: 178-183, 2012.
- [13] D. S. Pamungkas and K. Ward, "Electro-Tactile Feedback System to Enhance Virtual Reality Experience," *International Journal of Computer Theory and Engineering* vol. 8, no. 6, pp. 465-470, 2016.
- [14] D. S. Pamungkas and K. Ward, "Electro-tactile Feedback System for a Prosthetic Hand," *International Conference on Machine Vision and Mechatronics in Practice. (M2VIP)* (pp. 1-12). Australia: Mechatronics and Machine Vision in Practice. 2015
- [15] D. S. Pamungkas and K. Ward, "Using hand tracking and electro-tactile stimulation to facilitate learning touch typing," *Annual International Conference on Education & e-Learning (EeL2015)* (pp. 95-100).