



## **PERANCANGAN DAN PEMBUATAN MESIN WATER JET CUTTING (WJC) SEBAGAI ALAT PEMOTONG LEMBARAN KARET**

Suheri \*, Nurul Fadillah, Nazaruddin, Zainal Arif

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra

Diterima: 28-10-2019 ; Disetujui: 16-11-2019 ; Diterbitkan: 30-12-2019

\*Corresponding author: [suheri@unsam.ac.id](mailto:suheri@unsam.ac.id)

---

### **Abstrak**

Penerapan teknologi dalam upaya peningkatan ragam produk olahan berbahan baku karet merupakan usaha peningkatan nilai jual produk di tataran petani karet. Di tingkat hilir, petani karet umumnya menjual getah karet hasil sadapan tanpa melakukan proses pengolahan menjadi karet setengah jadi. Hal ini berdampak terhadap pendapatan petani karet yang masih rendah dan kurang memadai. Pemanfaatan air sebagai sumber energi untuk melakukan proses pemotongan produk karet ditetapkan mengingat air mudah diperoleh dan dengan menggunakan teknologi yang tepat dapat dimanfaatkan sebagai alat potong. Ditambahkan lagi hasil pemotongan yang diperoleh tidak mempengaruhi sifat-sifat mekanis karet. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk perancangan dan pembuatan mesin water jet cutting dan menginvestigasi parameter dan kondisi pemotongan sistem waterjet, sehingga mampu memotong lembaran karet dengan ketebalan  $\geq 1$  mm. Prinsip dasar sistem pemotongan menggunakan air adalah mengkonversi air yang bertekanan rendah menjadi air yang bertekanan tinggi. Pengkonversian air tersebut menggunakan pompa sederhana bertekanan 120-180 bar, umumnya digunakan untuk pembersihan mobil, lantai, dinding bangunan dan lain-lain. Namun, tekanan yang dihasilkan masih belum mencukupi untuk memotong material lunak, sehingga diperlukan perancangan sebuah nosel yang dapat menghasilkan tekanan air lebih tinggi. Proses drilling dilakukan dengan mengatur ketinggian Stand Of Distance(SOD) tertentu dan katup dibuka dengan waktu selama 2 detik, kemudian dipindah ke posisi yang lain untuk drilling lubang yang lain dan ditandai untuk SOD yang ditentukan tadi. Untuk setiap SOD dilakukan drilling minimum tiga lubang untuk replikasi. Variasi SOD diatur dari 5 mm hingga 35 mm dengan selang 5 mm. Sedangkan waktu drilling untuk masing-masing SOD dinaikkan dari 2 detik hingga 10 detik dengan tahapan 2 detik. Gambar 3 menunjukkan bahwa grafik pengaruh SOD terhadap kedalaman penetrasi secara keseluruhan dengan diameter nozzle 1 mm dan tekanan pompa konstan sebesar 150 bar. Dari grafik dapat dilihat pada SOD 5 mm dengan waktu drilling mulai dari 2 detik sampai 10 detik terjadi peningkatan kedalaman penetrasi yang signifikan. Begitu juga antara SOD 10 mm dan SOD 15 mm masih terjadi tren kenaikan kedalaman penetrasi. Pada saat SOD diatas 15 mm dengan waktu drilling mulai 2 detik sampai 10 detik terjadi sebaliknya, yaitu penurunan kedalaman penetrasi yang terus terjadi hingga SOD 35 mm apabila dibandingkan dengan kedalaman penetrasi yang terjadi antara SOD 5 mm sampai SOD 15 mm.

**Kata Kunci:** Karet, Nozzle, Stand Of Distance(SOD), Water Jet Cutting (WJC)

### **Abstract**

*The application of technology in an effort to increase the variety of processed products made from rubber is an effort to increase the selling value of products at the level of rubber farmers. At the downstream level, rubber farmers generally sell tapped rubber without processing into semi-finished rubber. This has an impact on rubber farmers' incomes that are still low and inadequate. Utilization of water as an energy source to carry out the process of cutting rubber products is determined considering that water is easily obtained and using the right technology can be used as a cutting tool. Added to the cutting results obtained*

---

*do not affect the mechanical properties of rubber. The purpose of this study is to design and manufacture water jet cutting machines and investigate the parameters and conditions of cutting waterjet systems, so as to cut dentan rubber sheets thickness  $\geq 1$ mm. The basic principle of a water cutting system is to convert low-pressure water into high-pressure water. The water conversion uses a simple 120-180 bar pressurized pump, generally used for cleaning cars, floors, building walls and others. However, the resulting pressure is still insufficient to cut out soft material, so it is necessary to design a nozzle that can produce higher water pressure. The drilling process is done by adjusting the height of a certain Stand Of Distance (SOD) and the valve is opened with a time of 2 seconds, then moved to another position for drilling another hole and marked for the SOD specified earlier. For each SOD, a minimum of three holes are drilling for replication. SOD variations are set from 5 mm to 35 mm with a 5 mm interval. While the drilling time for each SOD is increased from 2 seconds to 10 seconds with a 2 second stage. Figure 3 shows that the graph of the effect of SOD on the overall penetration depth with a nozzle diameter of 1 mm and a constant pump pressure of 150 bar. From the graph it can be seen that the 5 mm SOD with drilling time ranging from 2 seconds to 10 seconds occurs a significant increase in penetration depth. Likewise, between a 10 mm SOD and a 15 mm SOD there is still an upward trend in penetration depth. When the SOD is above 15 mm with drilling time from 2 seconds to 10 seconds the opposite occurs, namely a decrease in penetration depth that continues to occur up to 35 mm SOD when compared to the depth of penetration that occurs between 5 mm SOD to 15 mm SOD.*

**Keywords:** Rubber, Nozzle, Stand Of Distance (SOD), Water Jet Cutting (WJC)

---

**How to Cite:** Suheri, 2019, Perancangan dan Pembuatan Mesin Water Jet Cutting (WJC) Sebagai Alat Pemetong Lembaran Karet. *JMEMME (Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy)*, 3(02): 100-108

---

## PENDAHULUAN

Karet merupakan salah satu komoditas perkebunan penting, baik sebagai sumber pendapatan, penyumbang devisa bagi negara dan sumberdaya hayati pelestarian lingkungan. Indonesia sebagai negara dengan luas areal terbesar dan produksi kedua terbesar dunia, masih kalah bersaing dengan Thailand dan Malaysia akibat rendahnya produktivitas karet dan masih terbatasnya ragam produk olahan [1]. Ditinjau dari jumlah pabrik pengolahan karet yang berada di tingkat hilir sudah mencukupi, namun investasi baru dalam industri pengolahan masih sangat diperlukan, baik untuk menghasilkan crumb rubber maupun produk-produk berbasis karet lainnya. Agribisnis karet alam di masa datang akan mempunyai prospek yang makin cerah karena adanya kesadaran akan kelestarian lingkungan dan sumberdaya alam, kecenderungan penggunaan green tyres, meningkatnya industri polimer pengguna karet serta makin langka sumber-sumber minyak bumi dan makin mahalnya harga minyak bumi sebagai bahan pembuatan karet sintesis [2][3]. Peningkatan ragam produk olahan berbahan baku karet tidak terlepas dengan adanya penerapan teknologi yang membantu mempercepat proses pengolahan. Pada umumnya teknologi yang diterapkan masih menggunakan pola konvensional yang sarat dengan intervensi manusia dan kurang ramah terhadap lingkungan. Salah satu teknologi yang ditawarkan adalah pengolahan getah karet menjadi karet lembaran dan sistem teknologi

pemotongan lembaran karet dengan memanfaatkan air sebagai sumber energi [4]. Sistem ini dikenal dengan waterjet cutting, dimana mengubah tekanan air sehingga meningkat dan mampu digunakan untuk memotong material. Pemanfaatan teknologi ini dari sisi produk yang dihasilkan sangat baik karena tidak terjadi perubahan bentuk pada material akibat timbulnya panas, material yang terbuang lebih sedikit dan mengurangi penggunaan energi yang tak terbarukan. Penerapan teknologi ini pada kelompok petani karet dapat meningkatkan nilai jual dari karet tersebut, dimana biasanya karet hasil sadapan langsung dijual tanpa mengalami pengolahan dengan harga jauh lebih rendah dibandingkan setelah diolah menjadi produk baik jadi maupun setengah jadi [5]. Pada akhirnya akan meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan para petani karet itu sendiri. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk perancangan dan pembuatan mesin water jet cutting dan menginvestigasi parameter dan kondisi pemotongan sistem waterjet, sehingga mampu memotong lembaran karet dengan ketebalan  $\geq 1$ mm.

## METODE

Penggunaan energi air mulai diterapkan sejak tahun 1850-an pada pertambangan batubara dan logam mulia untuk memisahkan material yang diinginkan dari bebatuan. Tingginya tekanan dan laju aliran air selanjutnya telah dimanfaatkan dan dikembangkan untuk memecahkan batuan yang keras dan memperoleh batubara serta logam dari penambangan.

Selama rentang waktu 1950-an, teknologi air bertekanan tinggi telah mengalami pertumbuhan yang pesat dan diterapkan pada berbagai aplikasi yang lain sebagaimana dilakukan oleh Dr. Norman Franz yang memanfaatkan air bertekanan ultra tinggi (ultrahigh-pressure/UHP) sebagai alat pemotong untuk membelah pohon menjadi lumber [6][7]. Saat ini teknologi waterjet telah mampu digunakan untuk memotong material dari berbagai jenis seperti logam, keramik dan polimer. Disamping itu pemanfaatan teknologi waterjet juga telah diterapkan untuk pembersihan (cleaning), pembentukan (forming), pemotongan (cutting) dan peening. Menurut Summer (2001), teknologi waterjet dapat diklasifikasikan berdasarkan tekanan operasi yang diberikan ke dalam tiga tingkat, normal (dibawah 350 bar), tinggi (antara 345 dan 2070 bar) dan ultra tinggi (diatas 2070 bar). Kelompok terbesar pengguna waterjet adalah pada area pembersihan (cleaning) baik untuk rumah tangga maupun untuk industri berat [8].

Pada umumnya mesin waterjet memiliki pompa hidrolik yang digerakkan oleh motor listrik dengan daya sebesar 30 kW dan suplai minyak pada temperature 117 bar untuk menggerakkan pompa reciprocating plunger yang disebut intensifier. Selanjutnya, intensifier merubah air bertekanan rendah yang umumnya berkisar 4 bar menjadi bertekanan tinggi sebesar 3800 bar untuk accumulator. Accumulator disini berfungsi menjaga kesinambungan aliran air yang bertekanan tinggi dan mengurangi

fluktuasi tekanan. Air yang bertekanan tersebut di alirkan dari accumulator menuju kepala pemotong (cutting head) melalui tabung bertekanan tinggi yang memungkinkan bagi kepala pemotong untuk beraksi sesuai yang diinginkan.

Menurut summer, sistem waterjet yang tersedia di pasaran menggunakan tekanan yang sangat tinggi berkisar 2.000 sampai dengan 4.000 bar untuk memotong material, sehingga jenis waterjet komersial ini sangat mahal. Akan tetapi untuk penggunaan pemotongan material lunak seperti lembaran karet dan polimer, sistem waterjet bertekanan rendah akan sangat cocok untuk diterapkan karena penggunaan pompa bertekanan rendah untuk pemotongan dapat mengurangi biaya dari peralatan secara drastis [8].

Pada proses pemotongan material menggunakan waterjet, tekanan merupakan komponen yang sangat penting untuk menghasilkan air bertekanan tinggi. Hal ini dijabarkan dalam bentuk hubungan antara tekanan operasi ( $P$ , Pa) dan kecepatan awal jet ( $V$ , m/s) sedangkan densitas ( $\rho$ ) adalah densitas cairan ( $\rho_{\text{water}} = 103 \text{ kg/m}^3$ ), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 1 [9].

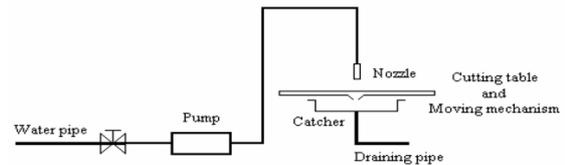
$$P = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1)$$

Untuk meningkatkan kemampuan potong, kecepatan jet harus ditingkatkan dan dikendalikan dengan baik sehingga mampu menghadapi gaya tumbukan yang lebih tinggi pada permukaan benda yang akan dipotong. Pada sisi yang lain,

gaya tumbukan yang rendah dapat dihasilkan dari pompa yang bertekanan rendah, dimana pompa tersebut normalnya di desain untuk keperluan pembersihan (cleaning) dan aplikasi pemotongan material lunak [9].

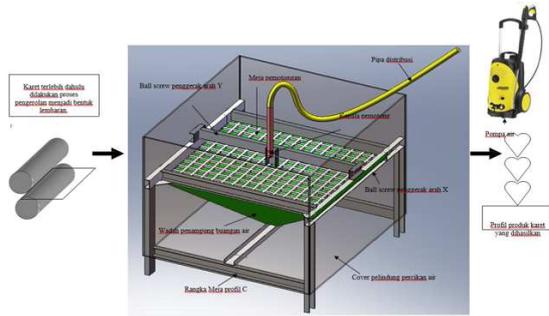
Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Tangwarodomnukun, penggunaan sistem pemotongan waterjet bertekanan rendah mampu memotong material-material lunak seperti lembaran polypropelene (PP), seluloid dan karet alami dengan tingkat ketebalan 0,2-0,7 mm. Pada perancangan dan pembuatan sistem waterjet cutting untuk pemotongan lembaran material, sebuah pompa bertekanan rendah yang biasanya digunakan untuk keperluan pembersihan dengan tekanan maksimum 150 bar digunakan dalam penelitian ini. Untuk menentukan kelayakan penggunaan waterjet bertekanan rendah sebagai alat potong profil, masalah-masalah yang harus diperhatikan adalah kondisi pemotongan dan jenis material yang akan dipotong [10].

Berdasarkan pada prinsip pemotongan waterjet yang menggunakan air sebagai sumber tenaga, maka material yang peka terhadap air dan lingkungan lembab tidak dianjurkan. Demikian pula halnya dengan material keras seperti baja dan keramik tidak dapat dipotong menggunakan sistem waterjet bertekanan rendah ini. Perancangan parameter utama pemotongan dan kesempurnaan dari sistem waterjet akan berdampak terhadap kualitas hasil pemotongan.



Gambar 1. Skematik diagram unit pemotong waterjet [10]

Sebagaimana tujuan penggunaan sistem pemotongan waterjet dikhususkan untuk pemotongan benda-benda lunak, maka skematik diagram unit pemotong waterjet yang dirancang dan dibuat pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 1. Selang air yang digunakan sebagai sarana distribusi air dari sumber air menuju ke pompa, unit pompa bertekanan rendah yang biasanya digunakan untuk keperluan kebersihan, kepala pemotong dilengkapi dengan unit nosel berfungsi meningkatkan tekanan air yang disuplai oleh pompa, meja bergerak berfungsi untuk menempatkan material yang akan dipotong dan menggerakkannya sesuai dengan bentuk profil pemotongan yang diinginkan, wadah penahan limpahan air setelah proses pemotongan dan saluran pembuangan air yang dimanfaatkan untuk mengarahkan air ke tempat penampungan agar dapat digunakan kembali pada proses pemotongan selanjutnya. Adapun skematik pengukuran dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik pengukuran penelitian

Pembuatan lubang atau proses drilling (pembuatan lubang) dengan WJM dilakukan dengan menghentikan gerak makan (feed) arah horizontal dan ditahan pada suatu titik tertentu dalam waktu tertentu pula hingga kedalaman lubang yang dikehendaki dapat dicapai. Prinsip proses drilling dengan WJM dapat digambarkan seperti ilustrasi gambar 1 berikut ini. Karena dalam lubang tidak terlihat, maka waktu drilling yang diukur. Selanjutnya proses dihentikan dan kedalaman penetrasi lubang diukur.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

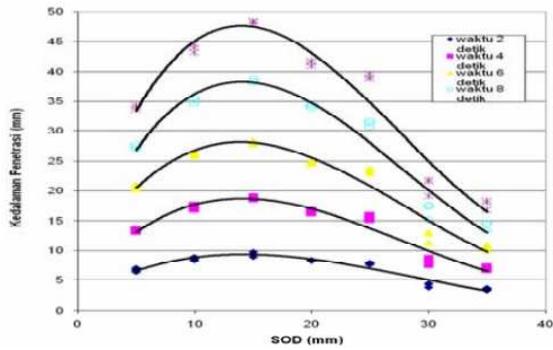
Rangkaian peralatan percobaan water jet machining ditunjukkan sesuai pada Gambar 3. Prinsip kerja dari instalasi gambar 3 dapat dijelaskan sebagai berikut : Air dalam volume yang besar ditampung pada tandon agar dapat mensuplai kebutuhan dengan debit 480 liter/jam dari pompa tekanan tinggi yang menaikkan tekanan hingga 60 bar atau sekitar 175 psi yang membutuhkan daya listrik 1 kW. Agar air yang masuk dalam pompa tidak tercampur kotoran dan partikel abrasif lainnya yang dapat memperpendek umur pompa, maka air

tersebut perlu disaring dengan filter. Untuk mencegah aliran balik dipasang check valve sebelum dan sesudah pompa. Air dengan tekanan tinggi kemudian ditampung di dalam akumulator agar tekanan dapat lebih stabil saat digunakan proses pemotongan. Exhaust valve (terpasang setelah akumulator) disini berfungsi untuk membuang udara yang terperangkap saat awal proses pemompaan air ke akumulator, dimana udara yang terperangkap dapat menurunkan tekanan air dalam akumulator. Untuk mencegah terjadinya ledakan akibat kelebihan tekanan, maka dipasang katup pengaman (safety valve) yang secara otomatis terbuka, jika tekanan melebihi tekanan yang diijinkan. Besarnya tekanan air dapat dibaca pada pressure gauge yang dipasang sebelum katup buka tutup (On/Off valve).



Gambar 3. Proses pengambilan data Mesin Water Jet Cutting

Proses pemotongan dilakukan dengan cara membuka katup On/Off sehingga air dengan tekanan tinggi akan keluar melalui nozzle dengan kecepatan yang sangat tinggi, disinilah terjadi perubahan energi dari tekanan menjadi energi kinetik. Akhirnya energi kinetik ini yang akan mengerosi benda kerja, sehingga terjadi proses drilling.

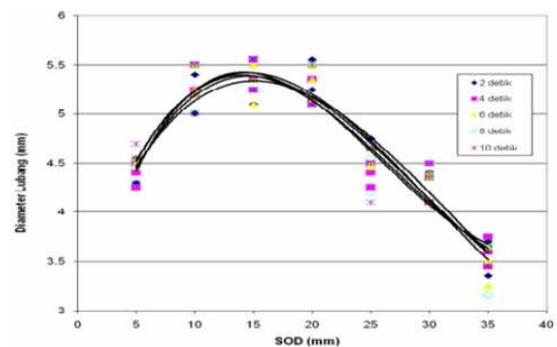


Gambar 4. Grafik ketinggian SOD dan Kedalaman penetrasi

Proses drilling dilakukan dengan mengatur ketinggian Stand Of Distance(SOD) tertentu dan katup dibuka dengan waktu selama 2 detik, kemudian dipindah ke posisi yang lain untuk drilling lubang yang lain dan ditandai untuk SOD yang ditentukan tadi. Untuk setiap SOD dilakukan drilling minimum tiga lubang untuk replikasi. Variasi SOD diatur dari 5 mm hingga 35 mm dengan selang 5 mm. Sedangkan waktu drilling untuk masing-masing SOD dinaikkan dari 2 detik hingga 10 detik dengan tahapan 2 detik. Gambar \$ menunjukkan bahwa grafik pengaruh SOD terhadap kedalaman penetrasi secara keseluruhan dengan diameter nozzle 1 mm dan tekanan pompa konstan sebesar 150 bar. Dari grafik dapat dilihat pada SOD 5 mm dengan waktu drilling mulai dari 2 detik sampai 10 detik terjadi peningkatan kedalaman penetrasi yang signifikan. Begitu juga antara SOD 10 mm dan SOD 15 mm masih terjadi tren kenaikan kedalaman penetrasi. Pada saat SOD diatas 15 mm dengan waktu drilling mulai 2 detik sampai 10 detik terjadi sebaliknya, yaitu penurunan kedalaman penetrasi yang terus terjadi hingga SOD 35 mm apabila dibandingkan dengan kedalaman

penetrasi yang terjadi antara SOD 5 mm sampai SOD 15 mm.

Pancaran air yang keluar melalui lubang nozzle menghasilkan energi kinetik dengan kecepatan tinggi. Ketika pancaran air yang keluar dari nozzle berbenturan dengan permukaan bata merah dengan sudut 90 derajat (tegak lurus), pancaran air tersebut akan menyebar secara radial diatas pusat benturan. Ketika pancaran air dengan kecepatan tinggi tersebut diarahkan pada suatu titik pada permukaan benda kerja dan tepat mengenai permukaan bata merah, maka energi kinetik dengan kecepatan tinggi tersebut akan menekan permukaan material. Karena terus ditekan lama kelamaan permukaan bata merah akan terkikis sedikit demi sedikit (mengalami erosi), dan pada akhirnya akan timbul lubang. Banyaknya material yang terkikis oleh pancaran air tersebut disebut MRR (*Material Removal Rate*) atau laju pembuangan material.



Gambar 5. Grafik ketinggian SOD dan Diameter Lubang

Pada Gambar 5 menerangkan grafik pengaruh Stand of Distance (SOD) terhadap laju pembuangan geram (MRR) (mm 3/s) secara keseluruhan dengan diameter nozzle 1 mm, lama waktu

drilling mulai 2 detik, 4 detik, 6 detik, 8 detik, dan 10 detik dan tekanan pompa konstan yaitu 150 bar. Pada saat SOD diatas 15 mm mulai terjadi penurunan nilai MRR yang terus terjadi hingga SOD 35 mm bila dibandingkan dengan nilai MRR yang terjadi pada SOD 5 mm sampai SOD 15 mm.

## KESIMPULAN

Jarak antara nozzle dan benda kerja atau SOD (stand of distance) mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap kedalaman penetrasi lubang, diameter lubang dan laju pembuangan material. Untuk Proses drilling pada batu bata menghasilkan data bahwa kedalaman penetrasi lubang, diameter lubang dan laju pembuangan material (MRR) sebagai fungsi SOD memberikan tren (kecenderungan) pola grafik parabolik yang mempunyai titik optimum tertentu. Dengan demikian kenaikan SOD hingga SOD optimum, semakin besar SOD semakin besar pula kedalaman penetrasi, diameter lubang dan MRR. Namun di atas SOD optimum mulai terjadi penurunan yang sangat signifikan. Waktu proses drilling sangat berpengaruh terhadap kedalaman penetrasi saja dan mempunyai hubungan linear. Jadi semakin lama waktu drilling semakin dalam penetrasi lubang yang terjadi. Sedangkan diameter lubang dan laju pembuangan material praktis tidak dipengaruhi oleh waktu proses drilling.

Hasil grafik pengaruh waktu drilling terhadap kedalaman penetrasi lubang tersebut ditunjukkan pada Gambar 5. Dari gambar 5 tersebut terlihat jelas bahwa pengaruh waktu

terhadap kedalaman penetrasi mempunyai hubungan linear. Jadi semakin lama waktu drilling, maka semakin dalam pula penetrasi lubang yang terjadi. Hal ini tentu saja disebabkan oleh semakin besar tersedianya waktu proses erosi dengan kecepatan erosi yang tertentu.

## REFERENCES

- [1] I. K. Dawson et al., "The management of tree genetic resources and the livelihoods of rural communities in the tropics: Non-timber forest products, smallholder agroforestry practices and tree commodity crops," *For. Ecol. Manage.*, vol. 333, pp. 9–21, Dec. 2014.
- [2] M. Widaningsih, "ROADMAP PENGEMBANGAN PENANAMAN MODAL WILAYAH GARUT SELATAN KABUPATEN GARUT," *Maj. Ilm. Bijak*, vol. 14, no. 2, pp. 169–181, Oct. 2019.
- [3] N. Azizah, "Formulasi Asap Cair Tempurung Kelapa dan Asam Formiat sebagai Bahan Koagulan Lateks terhadap Mutu Bahan Olahan Karet," 2018.
- [4] "Padi Sri Organik Indonesia (Edisi Revisi) - Dr. Ir. Mubiar Purwasmita, Ir. Alik Sutaryat - Google Buku." [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=ixAwBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Pada+++umumnya+teknologi+yang+diterapkan+masih+menggunakan+pola+konvensional+yang+sarat+dengan+intervensi+manusia+dan+kurang+ramah+terhadap+lingkungan.+Salah+satu+teknologi+yang+ditawarkan+adalah+pengolahan+getah+karet+menjadi+karet+lembaran+dan+sistem+tek&ots=egdHfvMXhF&sig=IMifj7MDhPOpWqP3UZdosg-eUYM&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=ixAwBwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=Pada+++umumnya+teknologi+yang+diterapkan+masih+menggunakan+pola+konvensional+yang+sarat+dengan+intervensi+manusia+dan+kurang+ramah+terhadap+lingkungan.+Salah+satu+teknologi+yang+ditawarkan+adalah+pengolahan+getah+karet+menjadi+karet+lembaran+dan+sistem+tek&ots=egdHfvMXhF&sig=IMifj7MDhPOpWqP3UZdosg-eUYM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false). [Accessed: 11-Nov-2019].
- [5] "Anticorrosive Rubber Lining: A Practical Guide for Plastics Engineers - Chellappa Chandrasekaran - Google Buku." [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=QsW3CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=The+application+of+this+technolog>

- y+to+a+group+of+rubber+farmers+can+i  
ncrease+the+selling+value+of+the+rubbe  
r,+which+is+usually+tapered+rubber+dir  
ectly+sold+without+processing+at+a+mu  
ch+lower+price+&ots=7h8aOGjMSg&sig=  
q6D970d3mJoiY9SdOu-  
y4LHAdUo&redir\_esc=y#v=onpage&q&  
f=false. [Accessed: 11-Nov-2019].
- [6] R. M. Izatt, S. R. Izatt, R. L. Bruening, N. E. Izatt, and B. A. Moyer, "Challenges to achievement of metal sustainability in our high-tech society," *Chemical Society Reviews*, vol. 43, no. 8. Royal Society of Chemistry, pp. 2451–2475, 21-Apr-2014.
- [7] S. Sabihuddin, A. Kiprakis, and M. Mueller, "A Numerical and Graphical Review of Energy Storage Technologies," *Energies*, vol. 8, no. 1, pp. 172–216, Dec. 2014.
- [8] "Industrial Cleaning Technology - Google Buku." [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=GgSZuUoAVtcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=water+jet+technology+can+be+classified+based+on+operating+pressure+applied+into+three+levels,+normal+\(below+350+bar\),+high+\(between+345+and+2070+bar\)+and+ultra+high+\(above+2070+bar\).+&ots=6hDB4PuQGK&sig=R-A6zwSgPNnYbKx4MPmpxj-oXok&redir\\_esc=y#v=onpage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=GgSZuUoAVtcC&oi=fnd&pg=PA1&dq=water+jet+technology+can+be+classified+based+on+operating+pressure+applied+into+three+levels,+normal+(below+350+bar),+high+(between+345+and+2070+bar)+and+ultra+high+(above+2070+bar).+&ots=6hDB4PuQGK&sig=R-A6zwSgPNnYbKx4MPmpxj-oXok&redir_esc=y#v=onpage&q&f=false). [Accessed: 11-Nov-2019].
- [9] "Energi Terbarukan: Konsep Dasar Menuju Kemandirian Energi - Sukandarrumidi, Herry Zadrak Kotta, Djoko Wintolo - Google Buku." [Online]. Available: [https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=VSBbDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR16&dq=Untuk+meningkatkan+kemampuan+potong,+kecepatan+jet+harus+ditingkatkan+dan+dikendalikan+dengan+baik+sehingga+mampu+menghadapi+gaya+tu mbukan+yang+lebih+tinggi+pada+permukaan+benda+yang+akan+dipotong.&ots=tXWFvUo99k&sig=34zOT3CwTWk5EqZcrj56Cv9B2Nk&redir\\_esc=y#v=onpage&q&f=false](https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=VSBbDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR16&dq=Untuk+meningkatkan+kemampuan+potong,+kecepatan+jet+harus+ditingkatkan+dan+dikendalikan+dengan+baik+sehingga+mampu+menghadapi+gaya+tu mbukan+yang+lebih+tinggi+pada+permukaan+benda+yang+akan+dipotong.&ots=tXWFvUo99k&sig=34zOT3CwTWk5EqZcrj56Cv9B2Nk&redir_esc=y#v=onpage&q&f=false). [Accessed: 11-Nov-2019].
- [10] V. Tangwarodmnukun, P. Likhitangsuwat, O. Tevinpibanphan, and C. Dumkum, "Laser ablation of titanium alloy under a thin and flowing water layer," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 89, pp. 14–28, 2015.