ISSN 2086-2962

PROTON

JURNAL ILMU-ILMU TEKNIK MESIN

VOLUME 11 No. 1 **MARET 2019**

REVIEW REKAYASA OLAHRAGA BALAP SEPEDA (*CYCLING SPORT ENGINEERING*) SEBAGAI REKOMENDASI PENINGKATAN PERFORMA ATLET LOKAL DAN NASIONAL
Gatut Rubiono, Nurida Finahari, Toni Dwi Putra

RANCANG BANGUN SISTEM KERJA *VALVE* 4 SILINDER MENGGUNAKAN INDIKATOR LAMPU LED SEBAGAI MODUL PEMBELAJARAN
Gamaliel Pranata, Gatot Soebiyakto, Akhmad Farid

STUDI PROSES PIROLISIS BERBAHAN JERAMI PADI TERHADAP HASIL PRODUKSI CHAR DAN TAR SEBAGAI BAHAN BAKAR BAKAR ALTERNATIF
Agus Nofiyanto, Gatot Soebiyakto, Purbo Suwandono

ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN MEDIA PENDINGIN UDARA DAN AIR GARAM PADA SAMBUNGAN LAP JOINT TERHADAP SIFAT MEKANIK MENGGUNAKAN LAS SMAW
M. Rizal Maghfiroh, Gatot Soebiyakto, Akhmad Farid

ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN AIR DAN OLI PADA SAMBUNGAN *LAP JOINT* TERHADAP SIFAT MEKANIK MENGGUNAKAN LAS SMAW (DC)
Sultoni, Nurida Finahari, M. Agus Sahbana

JURUSAN TEKNIK MESIN UNIVERSITAS WIDYAGAMA MALANG					
PROTON	Vol. 11	No. 1	Hlm. 1-42	Malang Maret 2019	ISSN 2086-2962

ISSN 2086-2962

PROTON
JURNAL ILMU-ILMU TEKNIK MESIN

VOLUME 11, No. 1, Maret 2019

DAFTAR ISI

REVIEW REKAYASA OLAHRAGA BALAP SEPEDA (*CYCLING SPORT ENGINEERING*) SEBAGAI REKOMENDASI PENINGKATAN PERFORMA ATLET LOKAL DAN NASIONAL
Gatut Rubiono, Nurida Finahari, Toni Dwi Putra *1-14*

RANCANG BANGUN SISTEM KERJA *VALVE* 4 SILINDER MENGGUNAKAN INDIKATOR LAMPU LED SEBAGAI MODUL PEMBELAJARAN
Gamaliel Pranata, Gatot Soebiyakto, Akhmad *15-20*

STUDI PROSES PIROLISIS BERBAHAN JERAMI PADI TERHADAP HASIL PRODUKSI CHAR DAN TAR SEBAGAI BAHAN BAKAR BAKAR ALTERNATIF
Agus Nofiyanto, Gatot Soebiyakto, Purbo Suwandono *21-28*

ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN MEDIA PENDINGIN UDARA DAN AIR GARAM PADA SAMBUNGAN LAP JOINT TERHADAP SIFAT MEKANIK MENGGUNAKAN LAS SMAW
M. Rizal Maghfiroh, Gatot Soebiyakto, Akhmad Farid *29-34*

ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN AIR DAN OLI PADA SAMBUNGAN *LAP JOINT* TERHADAP SIFAT MEKANIK MENGGUNAKAN LAS SMAW (DC)
Sultoni, Nurida Finahari, M. Agus Sahbana *35-42*

Redaksi menerima tulisan yang belum pernah diterbitkan atau dalam proses penerbitan dari kalangan akademisi dan peneliti. Redaksi berhak menolak naskah yang tidak memenuhi kriteria/persyaratan teknis, mengadakan perubahan susunan naskah, memperbaiki bahasa dan berkonsultasi dengan penulis sebelum naskahnya dimuat.

ISSN 2086-2962

PROTON
JURNAL ILMU-ILMU TEKNIK MESIN

VOLUME 11, No. 1, Maret 2019

PENANGGUNG JAWAB
Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang

PIMPINAN REDAKSI
Dr. Nurida Finahari, MT.

SEKRETARIS
M. Agus Sahbana, ST. MT

REDAKSI PELAKSANA
Gatot Soebiyakto, ST., MT.
Purbo Suwandono, ST. MT
Ir. H. Toni Dwi Putra, BE. MM. MMT

MITRA BESTARI:

Dr. Ir. Suriansyah S, MT.Met
Dr. Ir. Fachrudin, MT
Dr. Ir. Sabar Setiawidayat, MT
Ir. Gigih Priyandoko, MT. Ph.D
Arie Restu Wardhani, ST. MT. Ph.D

ALAMAT REDAKSI
Jurnal **PROTON**
Jurusan Teknik Mesin
Universitas Widyagama Malang
Jl.Taman Borobudur Indah No.3
Malang 65142
Telepon : 0341-492282 Ps.328
Fax : 0341- 496919
E-mail: mesin@widyagama.ac.id

Jurnal Proton terbit dua kali dalam setahun, setiap bulan Maret dan Oktober.
Redaksi menerima tulisan ilmiah hasil penelitian maupun kajian literatur di bidang Teknik Mesin.

KATA PENGANTAR

Rekan Penulis dan Pembaca Yang Terhormat,

Puji Syukur atas karunia-Nya, Volume 11, Nomor 1, Maret 2019 sudah dapat Redaksi terbitkan dengan beberapa kendala terkait masukan naskah yang meskipun semakin banyak dalam jumlah, tetapi semakin menurun dalam aspek kualitasnya. Naskah-naskah tersebut umumnya bersumber dari karya mahasiswa yang disusun berdasarkan naskah skripsi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem kendali terhadap penulisan artikel hasil penelitian masih belum berjalan secara maksimal. Dosen pembimbing yang juga tertulis sebagai tim penulis tampaknya mempercayakan aspek penulisan tersebut sepenuhnya pada para mahasiswa.

Kiranya dengan terbitnya Jurnal Proton pada edisi ini, program publikasi karya ilmiah mahasiswa dan dosen di lingkungan Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang dapat diperbaiki menjadi lebih baik, sehingga harapan untuk menjadikan Jurnal Proton siap terakreditasi bisa segera tercapai. Semoga penerbitan ini dapat memberikan sumbangsih pemikiran terhadap perkembangan ilmu dan teknologi secara umum, dan khususnya inovasi-inovasi baru bidang Teknik Mesin di Indonesia. Aamiin.

Salam,
Redaksi Proton

REVIEW REKAYASA OLAHRAGA BALAP SEPEDA (*CYCLING SPORT ENGINEERING*) SEBAGAI REKOMENDASI PENINGKATAN PERFORMA ATLET LOKAL DAN NASIONAL

Gatut Rubiono[1)], Nurida Finahari[2)], Toni Dwi Putra[2)]

[1)] *Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 01 Banyuwangi 68416*
[2)] *Teknik Mesin, Universitas Widyagama Malang, Jl. Taman Borobudur Indah 3 Malang*

Email: g.rubiono@unibabwi.ac.id

Abstrak – Atlet balap sepeda Indonesia masih mengalami ketertinggalan dalam lomba-lomba tahunan yang bertaraf internasional. Aspek rekayasa olahraga (*sport engineering*) dapat digunakan sebagai pendukung dalam upaya memperbaiki performa atlet. Rekayasa olahraga merupakan kombinasi ilmu olah raga dan ilmu rekayasa teknik. Artikel ini merupakan review hasil-hasil penelitian di olahraga balap sepeda dari aspek rekayasa olahraga untuk mendeskripsikan perkembangan dan tren penelitian. Review dilakukan dengan mengkaji literatur berbasis publikasi ilmiah di internet. Hasil kajian menunjukkan bahwa balap sepeda telah dikaji dari berbagai aspek yaitu komponen sepeda, teknik bersepeda, aspek pakaian, helm, aspek aerodinamika dan kombinasi aspek-aspek tersebut. Aspek aerodinamika merupakan topik yang banyak dikaji karena hambatan angin merupakan faktor utama dalam balap sepeda. Aerodinamika diteliti dengan metode simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan eksperimen di terowongan angin dengan model skala atau skala penuh. Aspek kedua adalah aspek biomekanika khususnya yang berkaitan dengan posisi duduk dan kayuhan pedal.

Kata kunci: rekayasa olahraga, balap sepeda, gaya hambat, aerodinamika

Abstract – Indonesian cycling athletes are still lagging behind in annual international competitions. Sports engineering aspects can be used as an endorser in an effort to improve athletes performance. Sports engineering is a combination beetwen sports science and engineering. This article is a review of the results of research in cycling from the aspect of sports engineering to describe the development and trends of research. The review is carried out by reviewing literatures on scientific publications on the internet. The results of the study show that bicycle racing has been studied from aspects of bicycle components, cycling techniques, clothing, helmets, aerodynamic aspects and a combination of these aspects. The aspect of aerodynamics is a topic that is widely studied because wind resistance is a major factor in bicycle racing. Aerodynamics was examined by simulation methods using Computational Fluid Dynamics (CFD) and experiments in wind tunnels with less or full scale models. The second aspect is the biomechanical aspect specifically related to sitting position and pedaling.

Keywords: sport engineering, cycling, drag force, aerodynamics

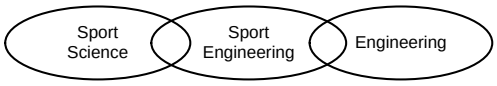
PENDAHULUAN

Federasi olahraga sepeda dunia (*Union Cycliste Internationale*/UCI) mengapresiasi International Tour de Banyuwangi Ijen (ITdBI), dimana rutenya dinilai indah dan menantang (Fanani, 2018). Balap sepeda bertaraf internasional ini memiliki empat etape sepanjang 599 km. Etape pertama adalah rute menanjak kategori dua sepanjang lebih dari 10 km. Etape kedua adalah rute datar yang relatif panjang. Etape ketiga adalah lintasan tanjakan dan *rolling*. (Fanani, 2018b). Etape empat adalah rute menuju gunung Ijen. Tanjakan lebih dari 12 kilometer dengan gradien di atas 20% dan termasuk dalam *hors categorie* yaitu kategori paling berat dalam standar dunia. Jalur ini menjadi salah satu jalur tanjakan paling ekstrem di Asia (Priyasidarta, 2018). Rute ini menjadikan ItdBI kompetisi balap sepeda kategori 2.2 (Fanani, 2018b).

Informasi Pengurus Besar Ikatan Sport Sepeda Indonesia (PB ISSI) tahun 2014 dalam referensi (Yunus & Saputra, 2017) menyebutkan bahwa terjadi ketertinggalan prestasi pembalap Indonesia dalam lomba-lomba balap sepeda kalender tahunan PB ISSI. Lomba-lomba ini adalah *Tour de Singkarak*, *Tour de East Java, Tour de Ijen Banyuwangi*, *Tour de Siak* dan *Tour de Indonesia*. Hampir di semua *event* tersebut yang mendapatkan juara atau pemenang perorangan maupun beregu diraih pembalap dari manca negara seperti Iran, Australia, dan pembalap Eropa seperti Belanda, Inggris, Rusia, Polandia.

Referensi (Yunus & Saputra, 2017) untuk melakukan penelitian komparasi rasio roda gigi dengan tanjakan 5% terhadap kecepatan maksimal pembalap pemula. Hasil penelitian memberikan rekomendasi penggunaan rasio roda gigi 53x 17 dibandingkan rasio 53x19 dan 53x21.

Aspek teknik merupakan salah satu faktor pendukung di bidang olahraga. Rekayasa olahraga (*sport engineering*) dapat dianggap sebagai disiplin ilmu rekayasa teknik baru. Bidang ilmu ini menjembatani kesenjangan antara dua bidang yang berbeda yaitu sains dan teknik olahraga. Para *engineer* olahraga bertanggung jawab dalam merancang dan membangun peralatan baru berdasarkan kebutuhan atlet, selain mengukur performa atlet, peralatan itu sendiri, serta interaksi keduanya. Rekayasa olahraga dapat didefinisikan sebagai aplikasi teknis matematika dan fisika untuk memecahkan masalah olahraga melalui desain, pengembangan, dan penelitian yang menghasilkan perangkat yang digunakan oleh atlet untuk meningkatkan performa mereka. Sebaliknya, ilmu olahraga (*sport science*) didefinisikan sebagai analisis dalam hal gerak, fisiologi, biomekanik dan psikologi seorang atlet (Taha et al., 2013).



Gambar 1. Hubungan antara *sport science* dan *sport engineering* (Haake, 1999 dalam Taha et al., 2013)

Tiga tujuan ilmu olahraga adalah untuk mengidentifikasi berbagai faktor manusia dan lingkungan yang mempengaruhi performa, untuk menganalisis efek yang mempengaruhi performa dan untuk mengoptimalkan performa (Emanuele & Denoth, 2012). Di masa depan, penelitian sains olehraga bersepeda akan terus sangat dipengaruhi dan didorong oleh perkembangan teknologi yang dirancang untuk menguji aspek fisiologi (fenomena molekuler dan seluler) dari pengendara dan desain mekanika sepeda (Faria et al., 2005). Performa bersepeda dipengaruhi faktor fisiologi, biomekanika, teknologi (Faria et al., 2005b), mekanika dan lingkungannya (Emanuele& Denoth, 2012). Pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme-mekanisme dan interaksinya yang mendasari gagasan optimalisasi dalam aspek dinamika olahraga bersepeda akan memungkinkan pendekatan yang lebih ilmiah untuk pengujian, pelatihan, dan penelitian (Faria et al., 2005b).

Aspek teknologi dapat menjadi penyebab ketertinggalan prestasi pembalap sepeda Indonesia. Penelitian bersepeda di masa depan harus terus sangat dipengaruhi oleh teknologi yang muncul. Ada banyak tantangan yang dihadapi para ilmuwan bersepeda yang harus memanfaatkan teknologi baru dan mengambil sikap agresif dalam membawa informasi baru ke olahraga bersepeda (Faria et al., 2005b). Olahraga balap sepeda jalan terus-menerus mendorong batas-batas pengetahuan baru dan mempelajari setiap metode yang mungkin untuk meningkatkan kecepatan dan efisiensi (Abdullah et al., 2017). Kemajuan dalam peralatan bersepeda dapat memiliki implikasi besar bagi keseluruhan performa bersepeda. Misalnya, perkembangan sepeda kecepatan tunggal dan ganda menjadi sepeda multi gir (*multigeared bicycle*) telah memungkinkan kecepatan yang lebih besar dan kemampuan melintasi medan yang dulunya tidak bisa dilewati (Peiffer & Abbiss, 2010).

Performa dapat ditingkatkan dengan perbaikan aspek manusia dan perangkatnya yaitu, dengan meningkatkan penilaian, keterampilan, gaya pelatihan atau dengan inovasi dalam peralatan meliputi aspek aerodinamika, helm, sepeda ringan, pakaian, aerobar dan lain-lain (Ashe et al., 2003). Sepanjang sejarah bersepeda, ada peningkatan yang konstan pada faktor teknologi. Kekuatan pendorong di balik perbaikan ini bersepeda sebagian besar adalah kompetisi. Sebagian besar perbaikan selama bertahun-tahun telah memodifikasi tata letak mekanisme pada sepeda seperti bentuk sepeda, desain penggerak dan rekayasa material (McWilliams, 2013).

Hasil-hasil penelitian dapat diaplikasikan untuk peningkatan performa balap sepeda. Hasil-hasil penelitian memberikan informasi yang berguna bagi atlet, pelatih, dan ilmuwan olahraga dalam hal rekomendasi pelatihan, protokol latihan dan penyusunan desain penelitian (Faria et al., 2005). Artikel ini bertujuan untuk melakukan review rekayasa olahraga balap sepeda sebagai rekomendasi peningkatan performa atlet lokal dan nasional.

METODOLOGI

Review dilakukan dengan kajian literatur publikasi ilmiah di bidang rekayasa olahraga balap sepeda. Literatur didapatkan dari publikasi hasil penelitian berbasis internet. Uraian penelitian ditampilkan dalam bentuk deskripsi ringkas menjadi uraian perkembangan dan tren penelitian dari tahun ke tahun. Deskripsi secara sistematis dilakukan dalam bentuk kategori sesuai dengan topik penelitian. Deskripsi ini akan menunjukkan perkembangan tren penelitian rekayasa olahraga di balap sepeda.

PEMBAHASAN

Komponen Sepeda

Sebuah penelitian dilakukan untuk sistem kayuhan pedal baru yang membuat masing-masing pedal independen dari yang lain sehingga engkol tidak lagi tetap (*fix*) pada posisi 180°.

Sistem ini diaplikasikan untuk peningkatan performa bersepeda yang membutuhkan ketahanan. Delapan subyek non pembalap melakukan dua tes sepeda ergometer pada hari yang terpisah, satu dengan sistem pedal konvensional (CON) dan yang lain dengan sistem rotor (ROT). Mulai dari 75 W, output daya meningkat sebesar 25 W dengan interval 3 menit hingga subyek kelelahan. Meskipun penelitian lebih lanjut diperlukan, terutama untuk pembalap terlatih, sistem rotor dapat meningkatkan efisiensi delta selama bersepeda. Penentu kinerja lainnya (VO_2max, output daya maksimal) tampaknya tidak berubah dibandingkan dengan sistem konvensional (Santalla et al., 2002).

Penggunaan roda gigi depan berbentuk ellips (*ellips chainring* juga disebut *chainwheels* atau *sprocket*) telah diminati komunitas amatir dan profesional. Sebuah studi dilakukan untuk menguji pengaruh penggunaan roda gigi ellips pada aspek fisiologis dan parameter kinerja selama uji coba bersepeda 10 km. Sembilan pesepeda pria menyelesaikan tiga uji coba menggunakan roda gigi standar atau ellips di dua pengaturan yang berbeda. Pesepeda dikondisikan tidak mengetahui jenis cincin rantai yang digunakan. Selama uji coba, output daya dan detak jantung dicatat pada frekuensi 1 Hz dan RPE (*ratings of perceived exertion*) diukur pada 3, 6 dan 8,5 km. Cincin rantai ellips tampaknya tidak memberikan manfaat dari segi performa dibandingkan rantai melingkar selama uji coba jarak menengah (Peiffer & Abbiss, 2010).

Sebuah simulasi dilakukan untuk pengembangan rangka sepeda. Simulasi dilakukan dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil simulasi diuji dalam bentuk eksperimen di terowongan angin (*wind tunnel*). Model yang dikembangkan adalah Trek KVF. Model ini dibandingkan dengan aerofoil standar NACA 0018. Hasil penelitian secara umum menunjukkan model KVF lebih aerodinamis dibandingkan aerofoil standar. Model Trek telah menciptakan rangka sepeda yang bisa memberi pengendara keuntungan besar yang kompetitif atas lawan mereka (McWilliams, 2013).

Sebuah penelitian bertujuan untuk menilai kemampuan simulasi CFD RANS dalam memprediksi kinerja aerodinamis lima jenis roda sepeda balap modern. Gaya hambat (*drag force*) dan gaya samping samping (*side force*) diselesaikan pada rentang sudut guling (*yaw*) yang berbeda. Model dibuat dengan menggunakan roda saja, tanpa garpu atau dukungan rangka apa pun. Simulasi berjalan pada model tunak (*steady state*) menggunakan densitas udara konstan (karena kecepatan rendah). Kecepatan angin yang digunakan adalah 8,94 m/dt yang sesuai dengan kecepatan putar roda (Pogni & Petrone, 2016).

Hasil awal yang diperoleh dengan metode ini menunjukkan kemampuan yang memuaskan untuk menggambarkan aerodinamika kualitatif perilaku roda sepeda balap, validasi lengkap hasil numerik hanya akan mungkin setelah pengujian terowongan angin. Karena fleksibilitas metodologi ini, sekarang memungkinkan untuk menggunakan CFD untuk memberikan lebih banyak jawaban pada beberapa pertanyaan dalam bersepeda kompetitif. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan, selain validasi terowongan angin, termasuk pengujian tidak stabil pada sudut sekitar 10° yang mengklarifikasi perilaku roda pada sudut kritis dan gaya hambat angin rata-rata (Pogni & Petron, 2016).

Berat dan kekakuan pedal adalah karakteristik penting. Lengan pedal yang lebih kaku akan menyebabkan lebih banyak kekuatan pedal ditransfer ke roda belakang sepeda daripada merubah lengan. Penurunan berat pedal membantu pengendara sepeda dan pembalap untuk melaju lebih cepat. Pedal dikaji sebagai perbandingan tegangan dan penghematan berat bahan alternatif dengan bahan baja yang ada. Meningkatkan kekuatan sementara mengurangi atau mempertahankan berat produk menjadi masalah penelitian yang sangat penting. Studi desain dilakukan dengan membandingkan desain alternatif pedal untuk pengurangan berat yang efektif. Material dipilih untuk meningkatkan rasio kekuatan terhadap berat. Penurunan berat dengan paduan aluminium 90 gram akan membuat desain menjadi menarik. Mengganti secara langsung Beralcast 310 meningkatkan kekakuan bagian sekitar 67% dan menurun beratnya sebesar 26,6% (Vairakanna & Chandran, 2017).

Teknik Bersepeda

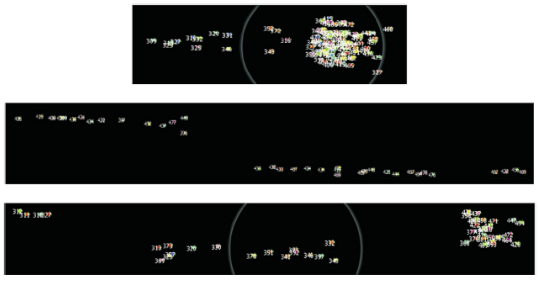
Efek posisi tubuh untuk berbagai durasi dan intensitas bersepeda dikaji terhadap dua belas pria sehat, aktif secara fisik tetapi tidak terlatih dan direkrut dari sebuah perguruan tinggi. Kriteria usia 17–25 tahun dan bukan perokok. Pesepeda rekreasi atau kompetitif dikeluarkan dari penelitian. Kondisi kardiovaskular atau pernapasan, perokok, dan yang lainnya diamati dengan aktivitas aerobar. Dua peserta dikeluarkan karena ketidak mampuan untuk menyelesaikan protokol latihan. Penelitian dilakukan dengan metode pengukuran respon kardiorespirasi (Ashe et al., 2003).

Peserta secara signifikan memiliki tingkat yang lebih besar untuk pengambilan oksigen (VO_2), ventilasi, denyut jantung, dan beban kerja maksimum pada posisi tegak. Selama bersepeda dalam kondisi stabil di tiga beban kerja, VO_2 (ml/kg/menit) dan efisiensi mekanis kotor secara signifikan lebih besar pada posisi tegak. Pada subyek yang tidak terlatih dan melakukan dengan upaya maksimal, posisi tegak memungkinkan

lebih besar VO_2, ventilasi, detak jantung, dan beban kerja maksimal. Selanjutnya, dalam kondisi stabil atau mantap, olahraga bersepeda mungkin lebih mudah dalam posisi tegak. Pengendara sepeda yang tidak terlatih perlu mempertimbangkan pengaruh posisi tubuh efek terhadap keuntungan aerodinamis yang dikenal sebagai posisi aero (Ashe et al., 2003).

Peloton adalah kelompok pengendara sepeda yang secara bersama-sama mendapatkan manfaat pengurangan output daya (penghematan energi) dari *drafting*. Pemodelan komputer dilakukan untuk dinamika peloton dengan parameter perlambatan dimana besarnya deselerasi bervariasi sebagai fungsi kekuatan pengendara. Model divalidasi dengan menerapkan data kecepatan start massal yang terdiri dari 14 pengendara dan menjalankan uji coba simulasi yang menghasilkan profil posisi sesuai kondisi sebenarnya. Serangkaian eksperimen simulasi dijalankan dengan variasi jumlah pengendara, durasi satu peristiwa keluaran mendekati ambang batas dan variasi elevasi (Trenchard et al., 2015).

Pemodelan ini cukup akurat dalam hal parameter perlambatan dan osilasi yang dihasilkan antara peregangan (penurunan kepadatan kelompok). Hasil simulasi secara konsisten menunjukkan pemisahan atau penyortiran peloton ke dalam kelompok yang lebih kecil dengan kebugaran rata-rata yang sesuai dengan posisi kelompok relatif, yaitu kelompok bugar lebih dekat dengan bagian depan. Penyortiran peloton ke dalam kelompok yang berhubungan dengan kebugaran memberikan wawasan tentang mekanisme divisi kelompok serupa dalam kondisi kolektif biologis di mana anggotanya menunjukkan kapasitas kebugaran fisiologis yang heterogen (Trenchard et al., 2015).



Gambar 1. Hasil simulasi (Trenchard et al., 2015)

Gambar 1 menunjukkan tiga keadaan akhir dari simulasi dinamika peloton sepeda. Gambar 1 atas menunjukkan 100 pesepeda dalam simulasi dengan medan datar, peregangan peloton rendah dan pembelahan kelompok rendah diamati. Gambar 1 tengah menunjukkan segmen 100 pengendara sepeda yang melintasi ‘medan bukit 3% dan pembagian peloton tinggi menjadi tiga kelompok utama. Gambar 1 bawah menunjukkan 50 pesepeda dengan ‘satu kemiringan bukit 4%. Peregangan dan pembelahan peloton diamati yaitu satu kelompok kepadatan tinggi terlihat di bagian depan (paling kanan) ketika kelompok peregangan mengikuti di belakang (Emanuele& Denoth, 2012).

Sebuah penelitian dilakukan untuk mengevaluasi metode yang setara untuk mengukur power output maksimal (P_{max}) dan ritme kayuhan optimal (C_{opt}) untuk bersepeda ketahanan. Penelitian dilakukan dengan menggunakan teori dan pendekatan eksperimental. Hubungan power-ritme disimulasikan dengan model teoritis juga dilengkapi dengan regresi kuadratik dan bias estimasi P_{max} dan C_{opt} dapat diabaikan (1,0 W dan 0,6 rpm). Di bagian eksperimen, delapan pengendara sepeda melakukan tes tambahan bersepeda pada 70, 80, 90, 100, dan 110 rpm untuk menghasilkan hubungan power-ritme pada konsentrasi laktat darah tetap dari 3, 3.5, dan 4 mmol L^{-1}. Hasil teoretis dan eksperimental menunjukkan bahwa P_{max}, C_{opt}, dan hubungan power-ritme seputar C_{opt} dapat diperkirakan dengan baik metode yang diusulkan (Emanuele& Denoth, 2012).

Aspek Pakaian

Eksperimen di angin terowongan angin dengan model pembalap sepeda dengan sampel pakaian yang dijahit dengan satu atau lebih dari 200 kain yang elastis (*stretch*). Pengukuran dimensi model dan area frontal memberikan koefisien drag nondimensional (Cd) dan angka Reynolds (Re) yang merepresentasikan kemampuan berbagai kain dan pakaian untuk mengurangi gesekan gaya hambat dan menginduksi krisis *drag* atau transisi aliran prematur. Krisis *drag* merupakan kecepatan udara kritis di atas segmen tubuh di mana aliran udara pada kondisi transisi dari laminar ke turbulen, menghasilkan bangun lebih kecil di belakang segmen tubuh dan penurunan yang sesuai dalam gaya drag (Fd) (Brownlie et al., 2009).

Sejumlah bahan kain memicu krisis drag pada bagian silinder dan ekstremitas badan, mengurangi Cd lebih dari 40%. Beberapa metode menurunkan Fd terbukti efektif, termasuk pakaian khusus, pelurusan jahitan dengan aliran udara, dan kain yang sesuai dengan tekstur tubuh. Pengukuran i pada pakaian yang sama memberikan rata-rata hambatan sekitar 3200 g dengan kesalahan standar ±29 g. Model matematis pengurangan gaya hambat karena pakaian ini memberikan pengurangan waktu tempuh (Brownlie et al., 2009).

Penggunaan sepeda secara intensif dapat meningkatkan risiko disfungsi ereksi dan kompresi daerah perineum menunjukkan adanya mekanisme utama yang mengarah ke perubahan kualitas hidup seksual. Sembilan atlet

mengendarai 20 menit dengan simulator drum dengan kecepatan konstan dan rasio roda gigi memakai celana pendek dengan 3 bantalan bersepeda dengan desain dan ketebalan berbeda yaitu *basic* (BAS), *intermediate* (INT), dan *endurance* (END). Kinematika dan data tekanan dicatat pada menit ke 5, 15, dan 20 dengan sistem penangkapan gerak dan sensor tekanan (Marcolin et al., 2015).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gaya vertikal dan nilai rata-rata tekanan pada sadel menurun secara signifikan selama periode 20 menit pengujian untuk BAS dan END. Hal ini menunjukkan bahwa tekanan puncak pada yang sesuai area pengendara sepeda perineal meningkat secara signifikan hanya untuk BAS. Menariknya, indeks kenyamanan obyektif yang diukur tidak sesuai dengan evaluasi kenyamanan subyektif pengendara (Marcolin et al., 2015).

Helm Sepeda

Helm areo telah digunakan sejak 1980 untuk mengurangi resistensi aerodinamis. Desain dilakukan untuk meningkatkan efisiensi aerodinamis helm sepeda balap. Beberapa produsen helm telah memperkenalkan lesung pipi pada bagian luar helm yang meniru efek lesung 'bola golf' dengan maksud untuk mengurangi hambatan aerodinamis helm. Penelitian dilakukan untuk uji aerodinamika empat aero-helm. Eksperimen dilakukan di terowongan angin. Data hasil eksperimen menunjukkan tidak ada keuntungan yang terukur antara helm halus dan berlesung terhadap variasi sudut *pitch* dan pada sudut *yaw* nol (Alam et al., 2014).

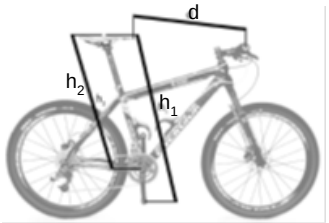
Penelitian juga dilakukan untuk perbandingan antara helm jalan standar dan helm jenis *air attack*. Pengujian dilakukan dalam beberapa kecepatan terowongan angin konstan yang paling merepresentasikan kecepatan angin nyata yang akan dialami pengendara. Eksperimen dilakukan untuk mengumpulkan data dengan 7 kecepatan yang berbeda dari 3 m/dt hingga 15 m/dt. Satu set data direkam untuk setiap helm pada dua sudut *pitch* yang berbeda yaitu 0º dan 25º. Hasil pengujian menunjukkan bahwa helm aerodinamis memberikan pengurangan hambatan pada helm standar. Mengenakan helm *air attack* dalam posisi aero memungkinkan pengendara sepeda melaju dengan kecepatan lebih tinggi tanpa peningkatan pengeluaran energi (Abdullah et al, 2017).

Sebuah studi aerodinamis lain dilakukan pada sebelas helm aero-road kelas atas dengan tujuan untuk menentukan apakah helm dapat secara bersamaan memiliki gaya hambat rendah dan pendinginan yang efisien. Manekin bersepeda dibuat khusus dengan kecepatan 40 km/jam dengan rentang sudut *yaw* 0° hingga ± 25° dan pada kecepatan 50 dan 58 km/jam pada *yaw* 0°. Pengujian termal kemampuan pendinginan setiap helm dilakukan dengan pemanas yang dibuat khusus sesuai bentuk kepala manekin, yang menggabungkan 36 termokopel yang tertanam di permukaannya. Kontur plot distribusi suhu di atas kepala dibuat bersama dengan gambar yang diperoleh oleh kamera termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua helm aero-road umumnya sama dinginnya tetapi mungkin ada perbedaan yang signifikan dalam hambatan aerodinamik (Fitzgerald et al., 2018).

Simulasi numerik digunakan untuk menyelidiki besarnya gaya hambat yang terjadi di sekitar permukaan helm. Dengan perangkat lunak CFD, empat variasi sudut datang angin (*angle of attack*) 0º, 10º, 20º dan 30º serta variasi angka Reynold $7.14x10^4$, $1{,}00x10^5$, dan $1{,}16x10^5$ disimulasikan untuk menentukan karakteristik aliran. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besar area pusaran (*vortex*) terbentuk di bagian bawah kurva helm dan mendominasi pada sudut datang 30º. Koefisien hambat yang dihasilkan pada sudut datang 0º hingga 20º cenderung menurun tetapi pada 20º dan 30º koefisien hambat meningkat (Syamsuri et al., 2018).

Aspek Biomekanika

Meskipun bersepeda adalah gerakan kaki dalam lintasan melingkar tertentu, hal ini bukanlah gerakan sederhana karena dapat dipengaruhi oleh geometri terkecil, faktor geografi dan perubahan berbagai faktor lain yang dapat berdampak pada parameter biomekanik. Pengetahuan tentang beberapa faktor ini dapat digunakan untuk membantu dalam menetapkan dan mencapai tujuan rehabilitasi atau balap. Mayoritas penelitian yang mencakup modifikasi kondisi bersepeda dilakukan untuk menjelaskan pola perilaku pengendara sepeda dan hanya sedikit penelitian yang menghasilkan hasil yang praktis. Karena itu, diperlukan penelitian tambahan untuk menemukan cara bersepeda yang lebih aman dan efisien (Fonda & Sarabon, 2010).



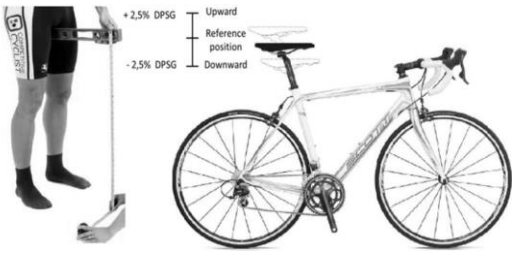
Gambar 2. Skema geometri sepeda (h_1: tinggi sadel dalam ilmu olahraga, h_2: tinggi sadel yang digunakan oleh pembalap dan praktisi, d: jarak antara sadel dan pegangan kemudi) (Fonda & Sarabon, 2010)

Pembalap sepeda menggunakan energinya untuk mengayuh sepeda ke arah depan. Energi ini mayoritas digunakan untuk mengatasi hambatan angin dan faktor-faktor gesekan pada mekanisme

sepeda. Proses pembangkitan energi dalam bentuk potensial dan kinetik ini melibatkan kinerja otot. Kemampuan seorang pengendara sepeda untuk memaksimalkan output daya dan mengoptimalkan aktivitas ototnya akan meningkatkan kinerja. Sebuah hasil penelitian menunjukkan bahwa otot ekstensor pinggul dan otot fleksor lutut memiliki respons unik antara overhead submaksimal dan bersepeda statis (Joerger, 2014).

Sebuah penelitian posisi pembalap dilakukan untuk mendapatkan model dinamis tulang belakang pengendara berdasarkan variasi linear dan angular jarak intervertebral di bidang sagital. Sepuluh derajat kebebasan model biomekanik tulang belakang diselesaikan secara numerik. Beban yang lebih besar bekerja pada tulang belakang pengendara sebagian besar terjadi saat duduk dalam posisi olahraga dibandingkan dengan posisi rekreasi atau setengah duduk. Beban aktif daerah tulang lumbar belakang dipengaruhi oleh tekanan ban, gundukan jalan dan kecepatan roda (Griskevicius et al., 2014).

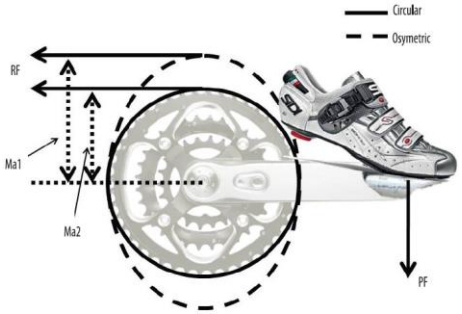
Perpindahan linear dan sudut terbesar ditemukan antara vertebra L4-L5. Otot tulang belakang mengalami beban terbesar dalam posisi duduk. Nilai rotasi vertebra dan variasi linier maksimum dalam interval roda dengan tekanan ban 1,5 bar dan pada kecepatan 10 km/jam adalah 0,46^o dan 0,46 mm. Rotasi vertebra maksimum dan nilai variasi linear untuk usia 23 tahun, tinggi 1,74 m, dan massa 73 kg (massa sepeda ~ 7 kg) interval roda dengan tekanan ban 3,5 bar dan pada kecepatan 30 km/jam adalah 3,9^o dan 1,23 mm. Variasi terbesar rotasi di bidang sagital antara dua tulang lumbar terdekat adalah sekitar 1^o. Karena perpindahan ini, bagian depan cakram yang diberi tekanan dengan 530 N lebih banyak dan bagian cakram punggung lebih sedikit (Griskevicius et al., 2014).



Gambar 3. Tinggi sadel dihitung dari jarak dari simfisis pubis ke tanah (DPSG) dan tiga posisi yang diadopsi selama tes Wingate: ke atas (+ 2,5% DPSG), posisi referensi, dan ke bawah (- 2,5% DPSG) (de Moura et al., 2017)

Sebuah penelitian bertujuan untuk menganalisis kinerja anaerob dan aktivasi otot selama tes bersepeda supramaksimal di tiga posisi sadel yang berbeda. Dua belas pengendara sepeda kompetitif menyelesaikan tes bersepeda dan tiga tes Wingate 30-s dalam tiga ketinggian sadel (referensi, ke bawah, dan ke atas), dalam urutan acak, pada hari yang berbeda. Ketinggian sadel secara individual bergeser ke bawah dan ke atas (2,5% dari jarak simfisis pubis ke tanah) dari posisi referensi. Hasil penelitian menunjukkan perubahan kecil dalam tinggi sadel yang menghasilkan output daya puncak yang lebih besar. Penyesuaian kecil ketinggian sadel dapat mempengaruhi hubungan kekuatan otot-otot tungkai bawah, dan berpengaruh terhadap kemampuan untuk menghasilkan kekuatan (de Moura et al., 2017).

Aktivitas bersepeda dilakukan dengan gerakan kaki mengayun pedal. Pedal menjadi salah satu topik kajian dalam aspek biomekanika. Mengurangi kerja internal, torsi puncak engkol, dan waktu yang dihabiskan di bagian atas dan bawah pusat mati (masing-masing posisi jam 12 dan jam 6) adalah di antara desain baru pedal. Perubahan dalam kinematika sendi tanpa efek pada aktivasi otot diamati ketika pengendara sepeda menggunakan roda gigi tidak berbentuk lingkaran. Sistem desain khusus berfokus pada peningkatan momen engkol lengan atau poros rantai pada posisi jam 3 dan mengurangi momen engkol lengan atau poros pada posisi jam 9 yang telah memberikan peningkatan efisiensi dan kinerja bersepeda (Bini & Dagnese, 2012).



Gambar 4. Ilustrasi desain roda gigi tidak berbentuk lingkaran untuk meningkatkan momen gaya di posisi jam 12. Momen lengan roda gigi non lingkaran (Ma1), momen lengan roda gigi lingkaran (Ma2), gaya hambat (RF) dan gaya pedal (PF) (Bini & Dagnese, 2012)

Panjang lengan pedal telah dikaji dari aspek biomekanik. Panjang optimum dihitung untuk setiap subyek uji dan dapat memenuhi kriteria panjang optimum pedal = (18,971 x panjang betis) – (7438 x panjang kaki total) + 90,679. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panjang optimum 16 subyek umumnya 120 – 160 mm. Respon fisiologis subyek menunjukkan bahwa panjang optimum ini mendekati panjang standar produk yaitu 170 mm. Hasil penelitian ini tidak merekomendasikan panjang optimum individual karena tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap respon fiologis (Sprules, 2000).

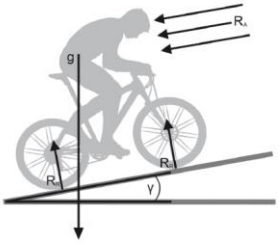
Sebuah dinamometer pedal mencatat perubahan teknik mengayuh (komponen normal

dan tangensial dari gaya yang diterapkan, orientasi engkol, dan orientasi pedal) dari 14 atlet elit untuk 40 km dengan irama kayuhan konstan ketika beban kerja meningkat sesuai kompetisi 40 km. Tujuh subyek tidak menunjukkan perubahan orientasi pedal, dan secara dominan meningkatkan komponen vertikal dari gaya yang diberikan selama *downstroke* ketika beban kerja meningkat. Subyek lain meningkatkan rotasi jari kaki ke atas sepanjang *downstroke* dan meningkatkan komponen horisontal antara 0" dan 90". Torsi negatif braket bawah selama *upstroke* biasanya menjadi torsi positif (*propulsive*) pada beban kerja tinggi. Namun, torsi selama kenaikan tidak mengurangi total kerja positif selama *downstroke*. Hal ini tidak berkontribusi signifikan terhadap kerja eksternal yang dilakukan karena 98,6% dan 96,3% dari total kerja pada beban kerja rendah dan tinggi yang dilakukan selama *downstroke* (Kautz et al., 1991).

Sebuah penelitian bertujuan untuk menyelidiki efek beban kerja dan irama kayuhan yang berbeda pada kinematika bidang frontal lutut dan kinetika. Delapan belas subyek berpartisipasi dalam penelitian ini. Sistem analisis gerakan digunakan untuk mengumpulkan 5 siklus kinematika selama 2 menit bersepeda dalam 8 kondisi pengujian, yang mencakup lima kondisi beban kerja 0,5, 1, 1,5, 2, dan 2,5 kg pada 60 putaran per menit (rpm), dan empat kondisi irama 60, 70, 80, dan 90 rpm dengan beban kerja 1 kg. Hasil penelitian menunjukkan dua pola momen lutut frontal di antara subyek kami yang perlu diselidiki lebih lanjut (Ying, 2014).

Para pemenang balap sepeda tahapan 3 minggu (seperti Giro d'Italia, Tour de France, Vuelta a Espana) umumnya adalah pembalap yang mendominasi di rute-rute menanjak. Atlet amatir cenderung menghindari medan menanjak karena ketidaknyamanan. Selama menanjak, pembalap perlu mengatasi gravitasi dengan beberapa perubahan postur. Perubahan dilakukan dengan aktivitas otot, sementara kekuatan pedal, dinamika sambungan, dan efisiensi bersepeda tidak banyak berubah selama bersepeda di tanjakan dibandingkan dengan bersepeda di medan datar. Selama bersepeda menanjak, semua aktivitas berbeda ketika dibandingkan bersepeda dengan pendakian yang duduk atau bersepeda di medan yang datar. Penelitian lebih lanjut harus fokus pada studi di luar ruangan dan lereng yang lebih curam (Fonda & Sarabon, 2012).

Efektivitas helm bersepeda untuk mengurangi cedera karena dampak energi tinggi tidak banyak diketahui karena pengujian dirancang untuk energi yang lebih rendah, seperti jatuh miring dari sepeda. Pengurangan risiko cedera dipengaruhi oleh merek helm dimana yang lebih mahal tidak serta merta menghasilkan hasil yang lebih baik. Hasil penelitian menunjukkan perlunya lebih banyak pekerjaan di bidang peningkatan dan pemahaman biofideliti. Akhirnya, produsen helm harus didesak untuk lebih transparan kepada konsumen tentang kapasitas mitigasi relatif dengan menciptakan sistem penilaian keselamatan helm. (Warnica, 2015).



Gambar 5. Gaya berlawanan utama selama bersepeda menanjak. Di mana g adalah akselerasi karena gravitasi; RA adalah hambatan aerodinamis, RR adalah gaya resistif traktif, dan γ adalah sudut medan (Fonda & Sarabon, 2012).

Aspek Aerodinamika

Sepeda balap melaju dengan kecepatan rata-rata 30-50 km/jam Syamsuri et al., 2018). Data Tour de France 2011 menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan pembalap sepeda peringkat atas sekitar 40 km/jam, namun, kecepatan pada tahap uji coba waktu adalah lebih dari 55 km/jam. Meskipun kecepatan rata-rata di area naik gunung sedikit di bawah 40 km/jam, kecepatan maksimum pada tahap menurun dapat dengan mudah melebihi 100 km/jam (Chowdhury et al., 2011). Dalam olahraga yang melibatkan kecepatan tinggi, balapan seringkali dimenangkan oleh hitungan milidetik. Gaya *drag* yang bekerja terhadap atlet seringkali merupakan kekuatan tertinggi yang harus dilawan oleh atlet dan, bahkan pengurangan *drag* yang kecil, dapat meningkatkan performa (Aggiano, 2010).

Ada beberapa kekuatan resistif berbeda yang mempengaruhi kinerja pengendara sepeda yaitu resistensi aerodinamis, kemiringan jalan, tahanan *rolling*, tranmisi penggerak (*drive train*), dan tahanan gesek bantalan roda (Mannion et al., 2016). Aerodinamika memiliki peran penting dalam semua disiplin ilmu ketika kecepatannya lebih dari 20 km/jam (Chowdhury et al., 2011). Ketika bersepeda di permukaan tanah dengan kecepatan lebih dari 14 m/dt, hambatan aerodinamis adalah gaya resistif yang paling penting. Sekitar 90% dari total output daya mekanik diperlukan untuk mengatasinya (Debraux et al., 2011). Hambatan aerodinamis adalah sekitar 80% dari total gaya resistif dalam balap sepeda di jalanan dengan kecepatan 30 km/jam dan hingga 94% dalam uji waktu kompetisi di 50 km/jam (Belloli et al., 2016).

Dalam bersepeda kelompok elit atau profesional, kekuatan resistif didominasi oleh aspek aerodinamika. Baik itu di jalan atau di *velodrome*, olahraga dipengaruhi aerodinamika.

Sejak penemuan sepeda, para insinyur telah berusaha untuk meningkatkan kinerja, seringkali dengan mengurangi *drag* aerodinamis (Lukes et al., 2005). Penelitian juga dilakukan pada perlengkapan pendukung aktivitas bersepeda seperti komponen sepeda yaitu rangka dan ban yang masing-masing dikaji oleh referensi [(McWilliams, 2012) dan (Pogni & Petrone, 2016)], aspek pakaian yang diteliti oleh referensi (Brownlie et al., 2009) dan helm yang dikaji dari aspek aerodinamis oleh referensi [(Alam et al., 2014), (Abdullah et al., 2017), (Fitzgerald et al., 2018) dan (Syamsuri et al., 2018)] di pembahasan sebelumnya. Hal ini sesuai dengan referensi (Crouch et al., 2017) yang menyebutkan bahwa aerodinamika memiliki dampak mendalam pada kinerja bersepeda di tingkat elit yang mempengaruhi posisi bersepeda dan gaya, desain dan pemilihan peralatan, taktik balap dan model pelatihan, aturan dan pemerintah yang mengatur dan bahkan melakukan desain velodrom baru.

Perubahan yang dilakukan pada posisi pengendara sepeda memiliki dampak terbesar pada hambatan aerodinamis dibandingkan dengan perubahan yang dilakukan pada peralatan. Perubahan posisi berkelompok memiliki dampak yang lebih besar pada hambatan daripada perubahan individu, tetapi perubahan itu bukan aditif. Total untung atau rugi dalam gaya *drag* untuk beberapa perubahan posisi bukanlah jumlah keuntungan atau kerugian individu dalam hambatan. Keuntungan dan kerugian aktual juga bervariasi secara signifikan antara atlet, terutama karena perbedaan ukuran dan bentuk tubuh, pengalaman berkendara, dan posisi referensi dari mana perubahan dilakukan (Underwood, 2012).

Parameter kinerja utama bersepeda adalah kecepatan perpindahan pengendara sepeda dan sepeda (v, dalam m/dt). Pada kecepatan konstan, rasio output daya mekanik dihasilkan oleh pengendara sepeda (P, dalam W) ke total gaya resistif (R_T, dalam N) diberikan dengan persamaan:

$$v = \frac{P}{R_T} \quad (1)$$

Persamaan (1) diberlakukan dengan asumsi bahwa output daya adalah jumlah output energi per satuan waktu (Chowdhury et al., 2011).

Gaya hambat total (F) adalah jumlah gaya hambat aerodinamik (F_D) dan gaya *rolling* antara roda dan permukaan jalan (F_R) sehingga:

$$F = F_D + F_R \quad (2)$$

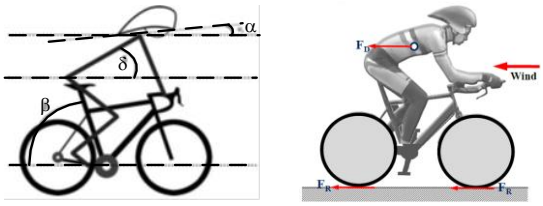
Hambatan aerodinamis meningkat secara kuadrat terhadap kecepatan pengendara sepeda (V) dan tergantung pada area depan pengendara sepeda dan sepeda yang kontak dengan arah angin (A). Hal ini diekspresikan sebagai koefisien hambatan (C_D) yang merupakan ukuran kualitas aliran udara sekitar pengendara sepeda dan sepeda, kepadatan udara, dan kuadrat dari kecepatan jalan. Hambatan aerodinamis (F_D) diekspresikan sebagai:

$$F_D = \frac{1}{2}\rho V^2 C_D A \quad (3)$$

Di sisi lain, hambatan *rolling* (F_R) tergantung pada total massa sepeda termasuk pengendara dan perlengkapan lainnya, dan diekspresikan sebagai:

$$F_R = C_R\, mg \quad (4)$$

Dimana C_R adalah koefisien hambatan *rolling*, m adalah massa dan g adalah konstanta gravitasi.



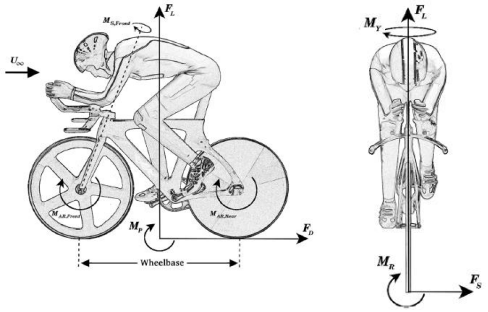
Gambar 6. Pemodelan dan desain parameter aerodinamis balap sepeda (Aggiano, 2010) dan gaya-gaya yang terjadi di balap sepeda (Chowdhury et al., 2011)

Seorang atlet mengalami enam aksi aerodinamis langsung (tiga gaya dan tiga momen), seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Selain itu gaya *drag* yang beraksi dalam arah yang berlawanan dengan gerakan pengendara sepeda, komponen gaya aerodinamis lainnya terdiri dari gaya samping 'F_S', dan gaya angkat vertikal 'F_L'. Momen didefinisikan tentang pusat sumbu roda sebagai momen *pitching* yang bertindak untuk mengangkat roda depan 'M_P', momen *roll* 'M_R', dan momen *yaw* 'M_Y'. Semua gaya dan momen ini dapat digambarkan sebagai koefisien gaya 'C_F' dan koefisien momen "C_M", dinormalisasi oleh area frontal dan tekanan dinamis, dimana koefisien momen oleh area depan dan jarak sumbu roda sepanjang '*l*' (Crouch et al., 2017).

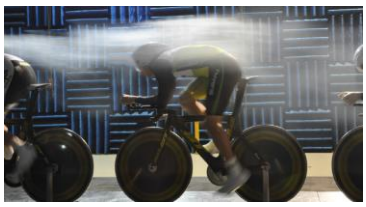
Riset aerodinamika bersepeda dapat dilakukan dengan metode simulasi komputer dan eksperimen menggunakan terowongan angin (*wind tunnel*). *Computational Fluid Dynamics* adalah metode yang dapat digunakan. Fisik angin dan perkotaan menyebabkan kondisi yang sulit untuk dimodelkan dalam lingkungan terowongan angin, dan sementara pengujian trek fisik dan atau velodrome terjadi secara aktual. CFD memungkinkan untuk mengontrol semua parameter model. Metode ini juga memungkinkan kondisi aliran terkontrol untuk mengukur kinerja yang relatif aerodinamis kecil. Selain itu, pemodelan aerodinamika benda penghalang seperti tubuh pengendara sepeda mengikuti

prosedur yang sama untuk memodelkan aliran udara di atas struktur yang kompleks (Mannion et al., 2016).

Penelitian berbasis simulasi telah dilakukan antara lain untuk analisis gaya *drag* dan fenomena perpindahan panas konveksi dari tubuh pembalap berdasarkan perbedaan posisi. CFD digunakan untuk 19 segmen tubuh pengendara untuk tiga posisi berbeda. Pengaruh kecepatan angin pada *drag* dianalisis, menunjukkan ketergantungan angka Reynolds terhadap *drag*, di mana posisi yang lebih ramping menunjukkan ketergantungan hingga angka yang lebih tinggi. *Drag* dan koefisien perpindahan panas konvektif (CHTC) dari segmen dan seluruh tubuh dibandingkan untuk semua posisi pada kecepatan balap, menunjukkan nilai *drag tinggi* untuk kepala, kaki dan lengan serta CHTC tinggi untuk kaki, lengan, tangan dan kaki (Defraeye et al., 2011).



Gambar 7. Pengendara sepeda, gaya dan momen aerodinamis berpusat di alas roda dengan momen kemudi dan aerodinamis yang bekerja di roda (Crouch et al., 2017).

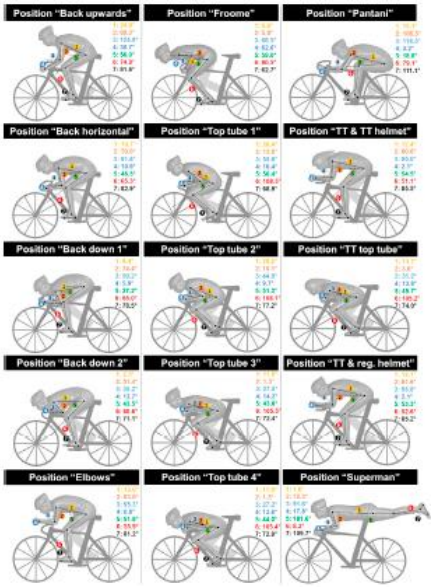


Gambar 8. Visualisasi aliran angin di terowongan angin (Crouch et al., 2017)

Daerah *drag* dari segmen tubuh individu sangat bervariasi untuk posisi pengendara yang berbeda sedangkan kehilangan atau pelepasan panas konvektif dari segmen tubuh ditemukan kurang sensitif terhadap pengaruh posisi. Korelasi kecepatan angin dengan CHTC diderivasikan, dimana eksponen hukum daya tidak berbeda secara signifikan untuk segmen tubuh individu untuk semua posisi, di mana nilai rata-rata 0,84 ditemukan. Studi CFD serupa dapat dilakukan untuk menentukan gaya hambat dan CHTC pada resolusi spasial yang lebih tinggi untuk aplikasi olahraga lain, desain peralatan sepeda atau untuk menilai transfer kelembaban konvektif (Defraeye et al., 2011).

Gambar 9 Posisi pembalap (a) tegak (*upright position*), (b) terjatuh (*dropped position*), (c) posisi *time-trial* (Defraeye et al., 2011)

Perbedaan posisi pembalap juga dikaji dari perbedaan posisi saat menuruni bukit atau gunung. Penelitian dilakukan dengan simulasi CFD dan eksperimen menggunakan model skala seperempat untuk 15 posisi berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa posisi "*Froome*" yang terkenal selama lintasan menurun *Peyresourde* pada tahap 8 Tour de France 2016 tidak aerodinamis. Posisi lain hingga 7,2% lebih cepat dan juga lebih aman karena mereka memberikan distribusi bobot tubuh yang lebih merata di kedua roda. Juga beberapa posisi yang memungkinkan pembangkitan daya lebih besar memiliki aspek aerodinamis yang lebih unggul (Blocken et al., 2018).



Gambar 10. Lima belas posisi saat turun bukit (Blocken et al., 2018)

Simulasi lain menggunakan CFD dilakukan untuk peloton sepeda yaitu kelompok utama yang mengendarai sepeda secara. Studi sebelumnya pada kelompok kecil pengendara sepeda *in-line* menunjukkan pengurangan hingga 50% pada pengendara yang terisolasi pada kecepatan yang sama dan nilai-nilai ini juga telah digunakan untuk peloton. Namun, di dalam peloton yang penuh sesak dengan beberapa baris pengendara yang menyediakan tempat berlindung, pengurangan *drag* yang lebih besar dapat diharapkan. Penelitian dilakukan untuk mempelajari pengurangan hambatan dalam dua

peloton dari formasi 121. Simulasi ini selanjutnya juga dibandingkan dengan eksperimen di terowongan angin (Blocken et al., 2018b).

Eksperimen aerodinamika juga dilakukan dengan pengukuran skala penuh gaya-gaya aerodinamika pada sepeda dan posisi tubuh yang berbeda serta variasi roda gigi dengan variasi kecepatan angin. Temuan eksperimental menunjukkan bahwa sepeda *time trial* memiliki gaya *drag* lebih rendah dari balap jalanan dan sepeda gunung. *Time trial* memiliki sekitar 36% dan sepeda balap jalan memiliki drag sekitar 21% lebih sedikit dari pada sepeda gunung. Hasil juga menunjukkan bahwa posisi *time trial* memiliki nilai C_D terendah. Sekitar 30% dan 45% pengurangan hambatan dimungkinkan di balap jalan dan posisi *time trial* masing-masing dibandingkan dengan posisi rekreasional (Blocken et al., 2018b).

Eksperimen juga dilakukan untuk meneliti pengaruh angin arah melintang (*crosswind*). Respons aerodinamis dari dua sepeda skala penuh dengan dan tanpa manekin untuk variasi sudut *crosswind* mulai dari 0^o-90^o (interval 15^o). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan yang diinduksi angin adalah fungsi dari sudut *crosswind*. Beban aerodinamis sebenarnya yang timbul dari angin seperti itu dapat mencapai sekitar 2,5 kali hambatan aerodinamik. Sudut tubuh memiliki sedikit pengaruh pada koefisien gaya lateral. Tipe sepeda secara signifikan mempengaruhi gaya aerodinamis yaitu pada sudut yaw besar, sekitar 60% dari total koefisien gaya lateral (Fintelman et al., 2014).

Eksperimen sebagai tindak lanjut hasil simulasi juga dilakukan referensi (Blocken et al., 2018b). Eksperimen dilakukan dengan membuat model dengan skala seperempat. Hasil menunjukkan bahwa hambatan semua pengendara sepeda di peloton berkurang dibandingkan dengan pengendara yang terisolasi. Posisi di tengah belakang peloton berkurang menjadi 5%-10% untuk pembalap yang terisolasi. Ini sesuai dengan "kesetaraan kecepatan bersepeda " yaitu 4,5 hingga 3,2 kali lebih kecil dari kecepatan peloton. Hasil eksperimen ini dapat digunakan untuk meningkatkan strategi bersepeda.

Gambar 11. Model skala seperempat pembalap tunggal dan kelompok (Blocken et al., 2018b)

Drafting adalah metode untuk mengurangi energi dalam bersepeda karena pembalap di belakang kelompok mengalami lebih sedikit hambatan aerodinamis. Hasil penelitian sesuai dengan riset dimana tren penurunan pengurangan *drag* dengan jarak *d*. Pada jarak maksimum yang dikaji, sekitar 1 meter, terjadi pengurangan sebesar 38%. Penurunan gaya hambat pada jarak 20 cm turun dari 41% pada 0^o ke 30% pada 5^o. Hasil juga menunjukkan efek tidak nol pada pengendara terdepan. Bahkan, jika pengurangan hambatan pada pengendara sepeda terdepan kecil dibandingkan dengan efek pada yang tertinggal. Beberapa persen dari manfaatnya jelas terlihat seperti untuk pengendara sepeda tambahan dimana pengurangan meningkat seiring jarak d menurun (Belloli et al., 2016).

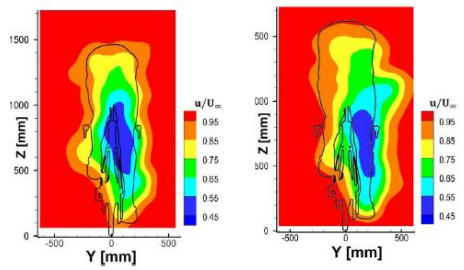
Gambar 12. Uji terowongan angin pembalap dengan jarak d (Belloli et al., 2016)

Simulasi dan eksperimen juga dilakukan untuk pembalap yang diikuti sepeda motor pegawalan. Pengurangan *drag* pengendara sepeda naik hingga 8,7% untuk sepeda motor pengawal tunggal dan menjadi 13,9% untuk tiga sepeda motor pada jarak 0,25 m di belakang pengendara sepeda. Jarak ini tidak jarang terjadi di kelompok elit. Efeknya dengan satu motor berikut di jarak pendek realistis d=0.25 m (8.7%), d=0.5 m (6.4%) dan d=1 m (3.8%) lebih besar dari pembalap yang dikuti mobil pada jarak pendek d=5 m (1,4%). Karena itu dapat dikatakan bahwa sepeda motor dalam balapan tidak hanya lebih berbahaya tetapi juga secara aerodinamis lebih berpengaruh. Studi ini memperkuat keharusan bagi International Cycling Union untuk mengubah peraturan tentang sepeda motor pengawal, bukan hanya untuk menghindari kecelakaan tetapi juga untuk menghindari manfaat aerodinamis yang tidak diinginkan (Blocken et al., 2016).

Gaya hambat aerodinamis juga diteliti untuk kompetisi balap tandem serta membandingkan posisi balap di jalanan dan posisi *time trial*. Simulasi dengan CFD juga dilanjutkan dengan eksperimen. Bersepeda tandem memiliki komplikasi memiliki dua atlet yang berdekatan satu sama lain di sepeda tandem tunggal. Deviasi gaya *drag* maksimum sebesar 4,9% ditemukan antara percobaan terowongan angin dan simulasi CFD dari model skala seperempat. Simulasi CFD skala penuh untuk pengaturan tandem tegak, berjongkok, uji-waktu, dan *frame-clench* dilakukan. Posisi tandem paling aerodinamis ditemukan dalam pengaturan *frame-clench* yang unik dan memiliki C_DA sebesar 0,286 m^2, dan dapat memberikan keuntungan sebesar 8,1 detik dari pengaturan uji-waktu standar untuk lintasan 10 km (Mannion et al., 2018).

Selain eksperimen di terowongan angin, eksperimen juga dilakukan di velodrome. Penelitian dilakukan untuk penerapan metode visual dengan menggunakan kamera video. Hasil rekaman dapat menjadi dasar bagi analisis gerak dan kajian aerodinamikanya. Penelitian ini dilakukan karena kesulitan dalam kecepatan gerak dan memisahkan latar belakang kondisi lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan aspek lokasi sepeda menggunakan lebih dari 90.000 klip, dengan akurasi sampel lebih dari 98%, yaitu dengan memicu pelacakan posisi sepeda dengan benar dan halus (Carey et al., 2017).

Penelitian juga dilakukan untuk metode aerodinamis. Terowongan angin memiliki kelemahan dalam pengamatan pola aliran udara. Dua contoh dibahas di mana resolusi tinggi *Particle Image Velocimetry* (PIV) telah dilakukan di saluran air untuk menyelidiki dinamika pembalap tunggal dan aliran sekitarnya. Area ini sebelumnya sulit diukur secara eksperimental menggunakan teknik pengukuran intrusif. Contoh pertama memberikan perbandingan pembangkitan gelombang skala 1: 4.5 di saluran air dan manekin pembalap skala penuh di terowongan angin. Contoh kedua menunjukkan aplikasi PIV untuk mengukur bidang aliran antara dua contoh. Pembangkitan gelombang menunjukkan kesesuaian pada variasi bilangan Reynold. Model *drafting* menunjukkan bahwa jika jarak antar pembalap lebih besar dari panjang sepeda, maka pembalap yang di belakang tidak mendapatkan pengaruh pembangkitan gelombang oleh pembalap depan (Crouch et al., 2015).



Gambar 13. Contoh profil kecepatan aliran dengan metode Ring of Fire untuk posisi *time trial* dan posisi tegak (Spoelstra et al., 2018)

Metode pengukuran yang disebut *the Ring of Fire* diterapkan untuk studi aerodinamis. Sistem ini mengandalkan penggunaan skala besar PIV stereoskopis dan kekekalan momentum dengan volume kontrol dalam kerangka referensi yang bergerak bersama dengan atlet. Pembalap pada kecepatan sekitar 8 m/dt, sesuai ukuran tubuh berbasis angka Reynolds $3{,}2 \times 10^5$. Pengukuran pembangkitan gelombang di awal dan di aliran dilakukan pada laju 2 kHz dalam bidang pengukuran sekitar 1000×1700 mm^2. Sebuah perbandingan dengan pengukuran keseimbangan gaya di terowongan angin menunjukkan perbedaan yang mungkin sebagian disebabkan oleh penyangga sepeda dan lantai stasioner. Perbedaan *drag* 25% diukur antara pembalap dalam posisi tegak dan *time-trial*, yang sesuai dengan literatur (Spoelstra et al., 2018).

PENUTUP

Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian balap sepeda dari sudut pandang rekayasa teknik telah dilakukan pada beberapa aspek antara lain komponen sepeda, teknik bersepeda, aspek pakaian, helm, aspek aerodinamika dan kombinasi aspek-aspek tersebut. Aspek aerodinamika merupakan topik yang banyak dikaji dengan banyaknya literatur yang didapat. Hal ini disebabkan karena hambatan angin merupakan faktor utama dalam balap sepeda. Aspek aerodinamika diteliti dengan metode simulasi komputer dan eksperimen di terowongan angin dengan model skala kecil atau skala penuh. Aspek kedua adalah aspek biomekanika karena bersepeda berhubungan langsung dengan gerak atlet yang melibatkan kontraksi otot sebagai bentuk pembangkitan energinya. Review menunjukkan bahwa tren utama penelitian saat ini dan di masa depan adalah aspek aerodinamis dan biomekanika.

DAFTAR PUSTAKA

A. Fanani, 2018, *Rute Tour de Banyuwangi Ijen 2018 diacungi jempol Federasi Sepeda Dunia*, http://www.sportdetik.com, diakses tanggal 11 Maret 2018

A. Fanani, 2018b, *Dimulai besok, inilah rute Tour de Banyuwangi Ijen 2018,* http://www.sport.detik.com, diakses tanggal 11 Maret 2019

A. Santalla, J.M. Manzano, M. Pe´rez, A. Lucia, 2002, *A new pedaling design: the rotor-effects on cycling performance*, Medicine & Science In Sports & Exercise 34(11): 1854-1858

A. Spoelstra, W. Terra, A. Sciacchitano, 2018, *The ring of fire for in-field sport aerodynamic investigation*, proceeding of ISEA 2018 “Engineering of Sport”: 1-7

B. Blocken, T. van Druenen, Y. Toparlar, F. Malizia, P. Mannion, T. Andrianne, T. Marchal, G-J. Maas, J. Diepens, 2018b, *Aerodynamic drag in cycling pelotons: New insights by CFD simulation and wind tunnel testing*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 179(2018): 319-337

B. Blocken, T. van Druenen, Y. Toparlar, T. Andrianne, 2018, *Aerodynamic analysis of different cyclist hill descent positions*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 181(2018): 27-45

B. Blocken, Y. Toparlar, T. Andrianne, 2016, *Aerodynamic benefit for a cyclist by a following motorcycle*, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 155(2016): 1-10

B. Fonda, N. Sarabon, 2010, *Biomechanics of cycling (Literature review)*, Sport Science Review XIX(1-2): 187-210

B. Fonda, N. Šarabon, 2012, *Biomechanics and energetics of uphill cycling: a review*, Kinesiology 44(1): 5-17

B.M. de Moura, V.L. Moro, M. Rossato, R.D. de Lucas, F. Diefenthaeler, 2017, *Effects of saddle height on performance and muscular activity during the wingate test*, J. Phys. Educ. 28(2838)

C. McWilliams, 2013, *Bicycle frame shape and the effect on performance, an aerodynamic study of the trek KVF frame*, Thesis, Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, University of Arkansas, Fayetteville

D. Priyasidarta, Ariandono, 2018, *Balap sepeda Tour de Banyuwangi Ijen lewati rute terberat*, http://www. sport.tempo.co, diakses tanggal 11 Maret 2019

D.M. Fintelman, M. Sterling, H. Hemida, F.-X. Li, 2014, *The effect of crosswinds on cyclists: an experimental study*, Procedia Engineering 72(2014): 720–725

E.B. Sprules, 2000, *The biomechanical effect of crank length arm on cycling mechanics*, Thesis, Master of Science, School of Human Kinetics, University of British Colombia

E.W. Faria, D.L. Parker, I.E. Faria, 2005, *The science of cycling, physiology and training – part 1*, Sports Med 35 (4): 285-312

E.W. Faria, D.L. Parker, I.E. Faria, 2005b, *The science of cycling factors affecting performance – part 2*, Sports Med 35 (4): 313-337

F. Alam, H. Chowdhury, H.Z. Wei, I. Mustary, G. Zimmer, 2014, *Aerodynamics of ribbed bicycle racing helmets*, Procedia Engineering 72(2014): 691 – 696

Fang, Ying, 2014, *Effects of cycling workload and cadence on frontal plane knee load*, Master's Thesis, University of Tennessee

G. Marcolin, N. Petrone, C. Reggiani, F.A. Panizzolo, A. Paoli, 2015, *Biomechanical comparison of shorts with different pads, an insight into the perineum protection issue*, Medicine 94(29): 1-

H. Chowdhury, F. Alam, I. Khan, 2011, *An experimental study of bicycle aerodynamics*, International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), 6(2): 269-274

H. Trenchard, E. Ratamero, A. Richardson, M. Perc, 2015, *A deceleration model for bicycle peloton dynamics and group sorting*, Applied Mathematics and Computation 251(2015): 24–34

J. Griskevicius, A. Linkel, J. Pauk, 2014, *Research of cyclist's spine dynamical model*, Acta of Bioengineering and Biomechanics 16(1): 37-44

J.D. Joerger, 2014, *Muscle activity and power output between stationary and outdoor cycling*, Thesis, Bachelor of Science - Comprehensive Kinesiology, University of Nevada, Las Vegas

J.J. Peiffer, C.R. Abbiss, 2010, *The influence of elliptical chainrings on 10 km cycling time trial performance*, International Journal of Sports Physiology and Performance 2010(5): 459-468

L. Aggiano, 2010, *Drag reduction and aerodynamic performances in Olympic sports*, Thesis for the degree of Philosophiae Doctor, Department of Energy and Process Engineering, Faculty of Engineering Science and Technology, Norwegian University of Science and Technology

L. Brownlie, C. Kyle, J. Carbo, N. Demarest, E. Harber, R. MacDonald, M. Nordstrom, 2009, *Streamlining the time trial apparel of cyclists: the Nike Swift Spin project*, Sports Technol. 2(1–2): 53–60

L. Underwood, 2012, *Aerodynamics of track cycling*, A thesis for the Degree of Doctor of Philosophy, Department of Mechanical Engineering, The University of Canterbury, New Zealand

M. Belloli, S. Giappino, F. Robustelli, C. Somaschini, 2016, *Drafting effect in cycling: investigation by wind tunnel tests*, Procedia Engineering 147(2016): 38 – 43

M. Pogni, N. Petrone, 2016, *Comparison of the aerodynamic performance of five racing bicycle wheels by means of CFD calculations*, Procedia Engineering 147(2016): 74 – 80

M. Yunus, S.Y. Saputra, 2017, *Komparasi rasio gir (53x17), (53x19) dan (53x21) dengan tinggi tanjakan 5% terhadap kecepatan maksimal pembalap sepeda pemula*, Motion VIII(2): 140-149

M.C. Ashe, G.C. Scroop, P.I. Frisken, C.A. Amery, M.A. Wilkins, K.M. Khan, 2003, *Body position affects performance in untrained cyclists*, Br J Sports Med 2003(37): 441–444

M.J. Warnica, 2015, *Biomechanical assessment of cycling helmets: the influence of headform and impact velocity based on bicycle collisions associated with injury claims*, Thesis, Master of Science, University of Waterloo, Ontario, Canada

M.N. Abdullah, M.K.H. Muda, F. Mustapha, M.A. Shamsudin, 2017, *Aerodynamics analysis for an outdoor road cycling helmet and air attack helmet*, International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing 5(1): 46-50

P. Carey, S. Bennett, J. Lasenby, T. Purnell, 2017, *Aerodynamic analysis via foreground segmentation*, prceeding of IS&T International Symposium on Electronic Imaging 2017 Computer Vision Applications in Sports: 10-14

P. Debraux, F. Grappe, A.V. Manolova, W. Bertucci, 2011, *Aerodynamic drag in cycling: methods of assessment*, Sports Biomechanics 10(3): 197-218

P. Mannion, E. Clifford, B. Blocken, M. Hajdukiewicz, 2016, *Assessing aerodynamic performance in cycling using computational fluid dynamics*, proceeding of Civil Engineering Research in Ireland Conference (CERI 2016) Galway

P. Mannion, Y. Toparlar, B. Blocken, E. Clifford, T. Andrianne, M. Hajdukiewicz, 2018, *Aerodynamic drag in competitive tandem para-cycling: road race versus time-trial positions*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 179: 92-101

P.L. Vairakanna, M. Chandran, 2017, *Design and material study of race bike crank*, International Journal Of Engineering Sciences & Research Technology, 6(4): 102-107

R.A. Lukes, S.B. Chin, S.J. Haake, 2005, *The understanding and development of cycling aerodynamics*, Sports Engineering 8(2005): 59–74

R.R. Bini, F. Dagnese, 2012, *Noncircular chainrings and pedal to crank interface in cycling: a literature review*, Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum 14(4): 470-482

S. Fitzgerald, H. Atkins, R. Kelso, A. Dimitriou, 2018, *Bicycle helmets—are low drag and efficient cooling mutually exclusive?*, Proceeding of ISEA 2018 "Engineering of Sport" 2, 212; doi:10.3390/proceedings 2060212: 1-6

S.A. Kautz, M.E. Feltner, E.F. Coyle, A.M. Baylor, 1991, *The pedaling technique of elite endurance cyclists: changes with increasing workload at constant cadence*, International Journal Of Sport Biomechanics 1991(7): 2963

Syamsuri, H. Syafik M, Y.P. Iswanto, 2018, *Study the effect of angle of attack on flow characteristics at racing bike helmet using CFD*, Proceeding of MATEC Web of Conferences 204, 06001 (2018), IMIEC 2018: 1-6

T. Defraeye, B. Blocken., E. Koninckx., P. Hespel., J. Carmeliet, 2011, *Computational fluid dynamics analysis of drag and convective heat transfer of individual body segments for different cyclist positions*, Journal of Biomechanics 44(9): 1695-1701

T.N. Crouch, D. Burton, Z.A. LaBry, K.B. Blair, 2017, *Riding against the wind: a review of competition cycling aerodynamics*, Sports Eng 20(2017): 81–110

T.N. Crouch, N. Barry, J.A Venning, D. Burton, M.C. Thompson, J. Sheridan, 2015, *The application of laser diagnostics to cycling aerodynamics*, Proceeding of 7th Australian Conference on Laser Diagnostics in Fluid Mechanics and Combustion Melbourne, Australia: 161-165

U. Emanuele, J. Denoth, 2012, *Power–cadence relationship in endurance cycling*, Eur J Appl Physiol 2012(112): 365–375

Z. Taha, M.H.A. Hassan, A.P.P.A. Majeed, M.A. Aris, N.N. Sahim, 2013, *An overview of sports engineering: history, impact and research*, Movement, Health & Exercise 2: 1-14

RANCANG BANGUN SISTEM KERJA *VALVE* 4 SILINDER MENGGUNAKAN INDIKATOR LAMPU LED SEBAGAI MODUL PEMBELAJARAN

Gamaliel Pranata*, Gatot Soebiyakto, Akhmad Farid

Jurusan D3 Otomotif Universitas Widyagama Malang
Jl. Borobudur No 35 Malang 65128, Jawa Timur, Indonesia
*Email : gamalielpranata88@gmail.com

ABSTRAK

Jurusan D3 Otomotif Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang diarahkan untuk memahami pengetahuan baik secara teori maupun secara praktek yang praktis. Jika sarana dan prasarana proses belajar mengajar terpenuhi, maka dapat memenuhi kebutuhan tenaga kerja didunia industri. Fasilitas alat praktek Sistem Pengapian mobil pada laboratorium sudah ada namun belum seimbang antara jumlah mahasiswa dengan alat praktek sistem kerja valve pada mobil. Guna menghindari kesulitan mahasiswa Jurusan D3 Otomotif dalam melakukan praktek dimasa yang akan datang, maka peneliti membuat modul pembelajaran system kerja valve pada mobil. Sistem valve merupakan proses siklus yang terjadi didalam ruang bakar untuk proses langakh hisap, kompresi, usaha, buang sehingga terjadi kerja valve sesuai kebutuhan mesin, dimana nantinya peroses ledakan tersebut akan menghasilkan tenaga dan gerak. Tujuan sistem ini adalah untuk mengetahui rangkaian sistem kerja valve terutama pada kendaraan mobil 4 silinder. Pengujian atau pengambilan data pada sistem kerja valve menggunakan dial indikator sedangkan untuk mengukur tegan pada indikator lampu LED mengunakan volt meter.

Kata Kunci : valve,katup, sistem kerja valve,modul pembelajaran, 4 silinder

PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan teknologi dan teknologi Otomotif membuat dunia pendidikan tinggi semakin dituntut untuk lebih meningkatkan kualitas mahasiswanya yang unggul dan profesional. Karena tantangan kerja di dunia industri khususnya dalam bidang Otomotif membutuhkan kualifikasi sumber daya manusia dengan spesialis keterampilan teknis dan praktis yang produktif. Untuk menjawab tantangan tersebut maka dituntut peningkatan mutu mahasiswa baik secara teori maupun praktek.

Jurusan D3 Otomotif Fakultas Teknik Universitas Widyagama Malang disamping mendidik dengan pendidikan juga mendidik diploma (D3). Pendidikan program D3 diarahkan untuk memahami pengetahuan baik secara teori maupun secara praktek yang praktis.

Jurusan pendidikan teknik otomotif yang memiliki program diploma tiga (D3) sebagai ahli media diharapkan dapat memenuhi kebutuhan tenaga kerja didunia industri. Secara konsepsional perguruan tinggi akan mampu mewujudkan tujuan tersebut, jika sarana dan prasarana proses belajar mengajar terpenuhi atau mendekati dalam mencapai tujuan. Salah satu factor pendukung tercapai kualitas yang diharapkan adalah tersedianya fasilitas praktek.

Fasilitas alat praktek sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator lampu LED pada laboratorium masih belum ada alat praktek sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator lampu LED media praktikum menggunakan indikator lampu LED di Laboratorium Pendidikan Teknik Mesin dan D3 Otomotif masih kurang.

Dengan keterbatasan di atas, maka fasilitas-fasilitas yang ada di laboratorium kiranya bisa dilengkapi demi menunjang sarana dan prasarana proses belajar mengajar di Teknik Mesin khususnya D3 Otomotif. Pada perguruan tinggi terdiri dari pendidikan jalur profesional. Jalur akademik mendasari pada pengalaman dan keterampilan kerja atau menekankan pada aplikasi ilmu dan teknologi.

Dari kejadian-kejadian di atas, maka dicoba untuk membuat alat sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator lampu LED guna untuk melengkapi sarana fasilitas laboratorium di Teknik Mesin dan D3 Otomotif.

Artikel ini merupakan hasil pengamatan terhadap masalah yang ditemukan pada pelaksanaan praktek dan penggunaan sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator lampu LED benar–benar sangat dibutuhkan. Alumni Jurusan Teknik Mesin nantinya khususnya program D3 secara otomatis dituntut untuk dapat memahami benar prinsip sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator lampu LED. Selain itu, setelah melihat kenyataan yang ada, banyak digunakan sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator lampu LED khususnya pada mobil. Oleh karena itu, guna menghindari

kesulitan mahasiswa Jurusan Teknik Mesin dan D3 Otomotif dalam melakukan praktek, maka dibuatlah modul pembelajaran sistem kerja *valve* 4 silinder menggunakan indikator lLampu LED.

METODE PENELITIAN

Penjelasan secara umum perancangan alat untuk mengetahui bagian – bagian dan cara kerja dari sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator Lampu LED antara lain sebagai berikut:

a) Perancangan sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator Lampu LED dimana pada sistem ini proses arus dilakukan oleh noken as dengan dorongan nok yang terdapat pada distributor.
b) Perancangan untuk sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator Lampu LED dimana pada system ini proses pemutusan arus dilakukan secara manual yang terdapat pada rotor.
c) Perancangan alat yaitu perancangan dengan menggunakan sistem papan praktikum untuk mengetahui bagian – bagian dan cara kerja dari tiap - tiap sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator Lampu LED.
d) Pengujian alat, adalah menguji hasil dari perancangan alat, apakah sesuai dengan tujuan yang disebutkan di atas.

Bahan yang digunakan sebagai bagian sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator Lampu LED adalah :

1. Baterai (Aki)
2. Kabel penghubung arus
3. Besi besar
4. Papan akrilik
5. Mur dan baut
6. Plat
7. Timah
8. Kontak
9. Timming belt
10. Motor penggerak
11. Lampu LED
12. Cylinder head
13. Lem tembak

Peralatan yang digunakan meliputi :

1. Mesin Las
2. Bor Listrik
4. Solder
5. Graji besi kecil
6. Gunting
7. Kunci Pas 12 dan 10

PEMBAHASAN

Pengujian mekanisme kerja katup

Pengujian mekanisme kerja katup dilakukan untuk memperoleh data lampu mana saja menyala ketika terjadi langkah hisap, kompresi, dan usaha pada keempat silinder.

Langkah- langkah pengambilan data:

1. Hubungkan konektor panel lampu LED
2. Tarik tombol *power*
3. Amati pada panel lampu LED pada satu garis menurun, misalnya: pada posisi silinder 1 lihat perubahan warnanya.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1 sistem kinerja mesin 4 silinder dan simulasi kinerja *valve* dan busi menggunakan lampu led pertama pada pergerakan piston dari TMA ke TMB dan begitu juga dengan TMB ke TMA, *valve in* akan menyala ketika piston melakukan langkah hisab, dengan posisi piston dari TMA menuju TMB. Lalu dilanjut dengan langkah kompresi dengan tidak menyalanya kedua lampu LED saat piston dari TMB ke TMA namun sebelum mencapai ke TMA kurang dari 5- 10 derajat percikan bunga api menyala yng di sertai dengan tanda menyalanya lampu LED busi dan businya juga. Itu yang di sebut langkah kerja. Lalu posisi piston dari TMA ke TMB ketika piston berada di TMB ke TMA akan menyalanya lampu LED yang berarti *valve ex* terbuka.

Tabel 1 Hasil data nyala lampu LED

No	Kinerja	Posisi Piston	Kinerja Lampu *Valve In*	Kinerja Lampu *Valve Ex*	Kinerja Lampu Busi
1	Langkah hisap	Piston yang bergerak dari TMA menuju ke TMB	Menyalanya lampu hijau	Tidak menyalanya lampu merah	Tidak menyalanya lampu putih
2	Langkah kompresi	Piston yang bergerak dari TMB menuju ke TMA	Tidak menyalanya lampu hijau	Tidak menyalanya lampu merah	Tidak menyalanya lampu putih
3	Langkah kerja	Piston yang bergerak dari TMB menuju ke TMA	Tidak menyalanya lampu hijau	Tidak menyalanya lampu merah	Menyalanya lampu putih
4	Langkah buang	Piston yang bergerak dari TMB menuju ke TMA	Tidak menyalanya lampu hijau	Menyalanya lampu merah	Tidak menyalanya lampu putih

Pengujian Valve Timing

Pengambilan data *valve timming* mengikuti langkah berikut:

a. Putar puli posisikan pada posisi top 1 atau top 4.
b. Setel kedua katup in dan ex silinder 1 apabila pada top 1 dan sebaliknya.
c. Posisikan Dial Indikator pada ujung atas tutup valve spring dengan posisi menekan dan kalibrasi ke nol.
d. Putar secara perlahan puli searah jarum jam dengan menggunakan kunci T 12mm.
e. Lihat pada dititik derajat puli mana awal katup terbuka dan dan akhir katup tertutup.

Gambar 1. Pengukuran menggunakan dial indikator

Data yang diambil meggunakan ukuran celah *valve* yaitu *intake* 0,20 mm dan katup *exhaust* yaitu 0,30 mm. Dari hasil pemgukuran dengan menggunakan alat Dial Indikator didapat data sebagaimana tampak pada Tabel 2. Dari data tersebut maka didapatkan:

Durasi klep *intake* = buka *intake* + 180
+ tutup *intake*
= 20+ 180 + 20
= 220 derajat

Durasi klep *exhaust* = buka *exhaust* + 180
+ tutup *exhaust*
= 55 + 180 + 20
= 255 derajat

Total durasi = durasi klep *intake* + durasi klep *exhaust* / 2
= 255 + 220 / 2
= 237,5 derajat

Overlapping = buka *intake* + tutup *exhaust*
= 20 + 20 = 40
= 40 derajat

Untuk data katup 2 maka dapat didapatkan:

Durasi klep *intake* = 233 derajat
Durasi klep *exhaust* = 204 derajat
Total durasi = 218,5 derajat
Overlapping = 17 derajat

Tabel 2 Hasil data derajat katup 1

VALVE	Derajat Buka	Derajat Tutup
Exhaust	55 derajat sebelum TMB	20 derajat sesudah TMA
Intake	20 derajat sebelum TMA	20 derajat sesudah TMB

Tabel 3 Hasil data derajat katup 2

VALVE	Derajat Buka	Derajat Tutup
Intake	11 derajat sebelum TMA	42 derajat sesudah TMB
Exhaust	18 derajat sebelum TMB	6 derajat sesudah TMA

Dari Tabel 4 maka dapat diketahui berapa lama katup *intake* dan *exhaust*. Yaitu pada 600 RPM maka durasi *valve intake* adalah 0.061 detik dan durasi saat *valve exhaust* adalah 0.071 detik dengan total durasi 0.132 detik, pada 900 RPM maka durasi *valve intake* adalah 0.041 detik dan durasi saat *valve exhaus* adalah 0.047 detik dengan total durasi 0.088 detik, pada 1200 RPM maka durasi valve intake adalah 0.031 detik dan durasi saat *valve exhaust* adalah 0.035 detik dengan total durasi 0.066 detik, pada 1500 RPM maka durasi *valve intake* adalah 0.024 detik dan durasi saat *valve exhaust* adalah 0.028 detik dengan total durasi 0.053 detik.

Dari Tabel 5 diatas maka dapat dketahui berapa lama katup *intake* dan *exhaust*. Yaitu pada 600 RPM maka durasi *valve intake* adalah 0.065 detik dan durasi saat *valve exhaust* adalah 0.057 detik dengan total durasi 0.122 detik, pada 900 RPM maka durasi *valve intake* adalah 0.044 detik dan durasi saat *valve exhaus* adalah 0.039 detik dengan total durasi 0.083 detik, pada 1200 RPM maka durasi valve intake adalah 0.033 detik dan durasi saat *valve exhaust* adalah 0.029 detik dengan total durasi 0.062 detik, pada 1500 RPM maka durasi *valve intake* adalah 0.022 detik dan durasi saat *valve exhaust* adalah 0.019 detik dengan total durasi 0.041 detik.

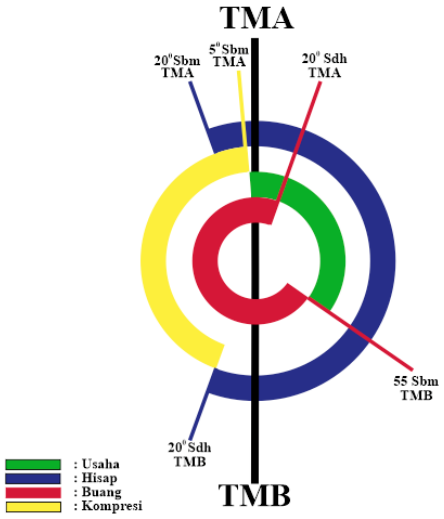
Dengan menggunakan celah *intake* 0,2 mm dan *exhaust* 0,3 mm maka dapat diketahui bahwa durasi klep *intake* adalah 220 derajat sedangkan durasi klep *exhaust* 255 derajat dengan total durasi 237,5 derajat. Terjadi *overlapping* 40 derajat.

Tabel 4 Durasi saat *valve* terbuka berdasarkan putaran mesin dengan celah katup *in* 0,2 mm dan *ex* 0,3 mm

No	Rotasi Per Menit (Rpm)	Durasi Saat *Valve In* Terbuka	Dan Durasi Saat *Valve Ex* Terbuka	Total Durasi Saat *Valve* Terbuka
1	600 RPM	0.061 detik	0.071 detik	0.132 detik
2	900 RPM	0.041 detik	0.047 detik	0.088 detik
3	1200 RPM	0.031 detik	0.035 detik	0.066 detik
4	1500 RPM	0.024 detik	0.028 detik	0.053 detik

Tabel 5 Durasi saat *valve* terbuka berdasarkan putaran mesin dengan celah katup *in* 0,25 mm dan *ex* 0,4mm

No	Rotasi Per Menit (Rpm)	Durasi Saat *Valve In* Terbuka	Dan Durasi Saat *Valve Ex* Terbuka	Total Durasi Saat *Valve* Terbuka
1	600 Rpm	0.065 Detik	0.057 detik	0.122 Detik
2	900 Rpm	0.044 Detik	0.039 Detik	0.083 Detik
3	1200 Rpm	0.033 Detik	0.029 Detik	0.062 Detik
4	1500 Rpm	0.022 Detik	0.019 Detik	0.041 Detik

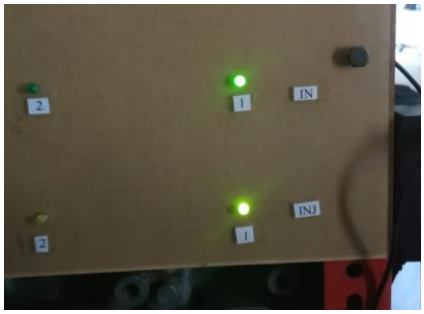


Gambar 2 Diagram *valve timming*

Analisa *Troubleshooting* Peralatan Uji

Pada alat tersebut dapat terjadi beberapa permasalahan/*trouble* sehingga dapat dilakuakan analisa dan pengecekan terhadap peralatan uji supaya dapat berfungsi dengan baik. Contoh trouble yang mungkin terjadi pada alat uji adalah;

1. Permasalahan/*trouble* lampu LED *intake valve* mati



Gambar 3 LED i*ntake valve*

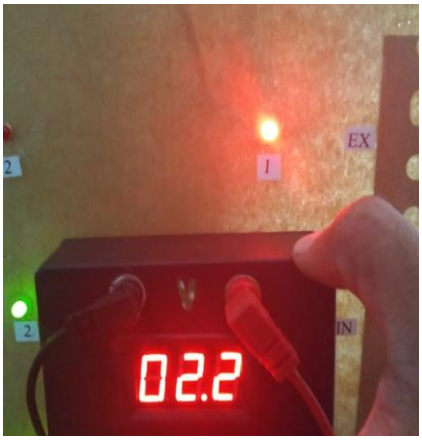
Permasalahan lampu LED *intake* mati dapat diketahui di panel lampu. Misalnya, apabila lampu LED *intake valve* 1 mati maka dapat dilakukan pengecekan sebagai berikut:

- Memutar *timming belt* sampai posisi nok menekan *intake valve* no 1 atau langakah hisap.
- Mengecek sambungan pada sensor menuju ke lampu LED apakah sudah sesuai.
- Mengecek sensor apakah juga sudah menyentuh poros nok.
- Apabila masih belum menyala maka dapat mekakukan pengecekan arus dari lampu ke saklar dengan menggunakan tespen apabila ada arus maka gunakan *Volt meter* untuk mengetahui lampu LED tersebut putus atau tidak .

2. Permasalahan/*trouble* lampu LED *exhaust valve* mati

Permasalahan lampu LED *exhaust* mati dapat kita ketahui di panel lampu. Misalnya, apabila lampu LED *exhaust valve* 1 mati maka kita dapat melakukan pengecekan sebagai berikut:

- Memutar *timming belt* sampai posisi nok menekan *exhaust valve* no 1 atau langakah buang.
- Mengecek sambungan pada sensor menuju ke lampu LED apakah sudah sesuai.
- Mengecek sensor apakah juga sudah menyentuh poros nok.
- Apabila masih belum menyala maka dapat mekakukan pengecekan arus dari lampu ke saklar dengan menggunakan tespen apabila ada arus maka gunakan *Volt meter* untuk mengetahui lampu led tersebut putus atau tidak .



Gambar 4. LED *exhaust valve*

KESIMPULAN

Sistem kerja *valve* 4 silinder menggunakan indikator lampu LED merupakan sistem yang bekerja di dalam ruang bakar untuk mengatur proses langkah hisap, kompresi, usaha dan buang. dimana nantinya proses ledakan tersebut akan menghasilkan tenaga dan gerak yang mana alat kinerjanya itu sendiri. Sistem kerja *valve* 4 silinder menggunakan indikator lampu LED sendiri memiliki beberapa komponen utama yakni Baterai atau *accu* sebagai sumber listrik,sensor sebagai pemutus arus, dan penyambung arus dan lampu LED sebagai indikator. selain itu pada Sistem kerja *valve* 4 silinder menggunakan indikator lampu LED juga terdapat beberapa komponen lagi, yakni sebagai pembangkit listrik, delco sebagai pembagian penyalaan lampu busi, Kontak sebagai pemutus dan penyambung aliran,sekring untuk mencegah konslet pada rangkaian pelampuan itu sendiri agar ketika ada sebuah konslet langsung menghantam sekring itu sendiri.

Pengujian atau pengambilan data pada rancang bangun Sistem kerja *valve* 4 silinder menggunakan indikator lampu LED. ini menggunakan putaran *noken as* yang terhubung dengan sensor lampu yang mengatur penyalaan lampu dengan putaran *noken* dan untuk mengukur durasi derajat menggunakan dial indikator.

Agar mendapatkan penyalaan lampu LED yang sesuai prosedur kinerja *valve* yang sempurna diharapkan untuk susunan atau sambungan masing masing lampu led sesuai timming pada sensor lampu.

Diharapkan penggantian komponen – komponen seperti kuningan *sensor*, *timming sensor* dan lampu agar penyalaan lampu LED tetap berfungsi dengan baik.

Dapat digunakan untuk media pembelajaran praktikum mata kuliah motor bensin sistem kerja *valve* 4 silinder menggunakan indikator lampu LED Ketika digunakan untuk pembelajaran praktikum diharapkan untuk mengecek Keadaan *timming sensor*,lampu LED,kabel lampu LED terlebih dahulu sebelum digunakan apakah kondisinya Sudah benar atau tidak, karena berpengaruh terhadap penyalaan lampu LED yang ada di blok mesin dan di atas blok mesin.

Diharapkan mahasiswa nantinya dapat menganalisa apabila terjadi gangguan pada sistem kerja valve 4 silinder menggunakan indikator lampu LED.

DAFTAR PUSTAKA

Nasrun.(2008). *Teknik Mekanik Mobil.* Padang.Tingkat Kurikulum Satuan Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan(KTPSP-SMK).

Toyota Astra Motor.(2000).New Step 1.Jakarta: Toyota Astra Motor

Agus, Sholikhin(2017). *Artikel Sholikin Agus Universitas Widyagama Malang.*Malang. Universitas Widyagama Malang.

Ulum, Bahrul . (2018*). Artikel Bahrul Ulum Universitas Widyagama Malang.*Malang. Universitas Widyagama Malang.

Anonim,https://www.teknik-otomotif.com/2017/05/fungsi-dari-poros-nok-atau-noken-as.html diakses 20 Mei 2019

Anonim,https://www.autoexpose.org/2018/10/4-stroke-engine-diagram.html diakses 21 Mei 2019

Anonim,https://mutiarafatrini.blogspot.com/p/definisi-motor-bensin.html diakses 21 Mei 2019

Anonim,http://servisoto.blogspot.com/2016/04/fungsi-cylinder-head-kepala-silinder.html diakses 22 Mei 2019

Anonim,https://www.teknik-otomotif.com/2018/03/diagram-pembukaan-katup-valve-timing.html diakses 22 Mei 2019

Anonim,https://3.bp.blogspot.com/2018/komponen-kepala-silinder.html diakses 22 Mei 2019

Anonim,https;//id.carousell.com/2017/4/Cylinder-Head diakses 22 Mei 2019

STUDI PROSES PIROLISIS BERBAHAN JERAMI PADI TERHADAP HASIL PRODUKSI CHAR DAN TAR SEBAGAI BAHAN BAKAR BAKAR ALTERNATIF

Agus Nofiyanto[*)], Gatot Soebiyakto, Purbo Suwandono

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Widyagama Malang
[*)] Email: agusnofiyanto08@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengaruh temperatur terhadap kualitas char dan tar dari pirolisis berbahan jerami padi. Jerami padi digunakan karena ketersediaannya yang melimpah di lingkungan masyarakat Indonesia, dimana mayoritas penduduknya adalah petani. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerami padi dengan massa setiap sekali uji sebanyak 200 gram dengan kadar air sebesar 2 % dengan waktu tunggu (residence time) selama 3 jam. Variasi temperature dalam penelitian ini adalah 250, 350, 450 dan 550°C. Setiap proses pirolisis akan menghasilkan padatan (char), cairan (tar) dan gas (syn-gas). Namun, Produk pirolisis yang diteliti pada penelitian ini adalah char dan tarnya saja. Char dari hasil setiap pirolisis dibandingkan massanya dan untuk tar yang dihasilkan diteliti massa, volume, densitas serta viskositasnya untuk setiap variasi temperature. Selanjutnya, nilai rata-rata densitas dan viskositas tar pirolisis dibandingkan dengan nilai densitas serta viskositas bahan bakar fosil yang selama ini telah digunakan di lingkungan masyarakat. Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa semakin tinggi temperature massa char akan berkurang berbanding terbalik dengan massa dan volume tar yang semakin meningkat. Selain itu nilai densitas tar akan meningkat berlawanan dengan nilai viskositas tar yang justru semakin menurun saat temperature dinaikkan. Densitas tar hasil percobaan memiliki nilai rata-rata, mendekati nilai densitas solar. Sedangkan Viskositas rata-rata tar hasil percobaan adaah 1,0230 cP. Hasil tersebut mendekati nilai viskositas bahan bakar solar yaitu 0,930 cP.

Kata kunci: Pirolisis, char, tar, densitas, viskositas.

Abstract - The effect of temperature on char and tar quality from pyrolysis made from rice straw has been carried out. Rice straw is used because of its abundant availability in the Indonesian community, where the majority of the population are farmers. The sample used in this study is rice straw with mass every test as much as 200 grams with a moisture content of 2% with a residence time of 3 hours. The variations in temperature in this study are 250, 350, 450 and 550 ° C. Each process of pyrolysis will produce solid (char), liquid (tar) and gas (syn-gas). However, the pyrolysis products examined in this study are only char and tars. Char of the results of each pyrolysis compared to its mass and for the resulting tar the mass, volume, density and viscosity are examined for each variation in temperature. Furthermore, the average value of tar pyrolysis density and viscosity is compared with the value of the density and viscosity of fossil fuels that have been used in the community so far. From this study it was concluded that the higher the mass temperature of the char would be inversely proportional to the mass and volume of tar increasing. In addition, the value of tar density will increase in contrast to the viscosity of tar which decreases when the temperature is raised. The tar density of the experimental results has an average value, close to the value of solar density. Whereas the average tar viscosity of the experimental results is 1.0230 cP. These results are close to the value of premium gasoline viscosity which is 0.930 cP.

Keywords: Pyrolysis, char, tar, density, viscosity

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi yang cukup tinggi di dunia. Penggunaan energi minyak bumi yang terus menerus pada seluruh sektor baik untuk skala kecil ataupun besar terus meningkat. Konsumsi energi di Indonesia pada tahun 2015 terbagi untuk sektor Industri 31,79 %, rumah tangga 15,27 %, komersia sebesar 5,09 %, transportasi sebesar 45,51 % dan lain-lain sebesar 2,34 % (Anonim, 2019). Nampak jelas dari data tersebut bahwa konsumsi terbesar berada pada sektor transportasi seiring dengan meningkatnya populasi penduduk Indonesia. Renstra Direktorat Minyak dan Gas Bumi untuk tahun 2015 s/d 2019 Kementrian ESDM menyatakan bahwa Industri minyak bumi Nasional sudah tua dan produksi minyak bumi mengalami penurunan rata-rata 12% pertahun (Kemen ESDM, 2015). Cadangan minyak bumi Indonesia saat ini tersedia 3,3 miliar barel

(Anonim, 2019b). Hal tersebut menyebabkan terjadinya krisis energi. Krisis tersebut terjadi karena masih diandalkannya energi fosil dalam penuhan kebutuhannya. Sifat energi fosil yang non renewable atau tidak dapat diperbaharui membuat keadaan menjadi sulit. Untuk mengatasi hal tersebut banyak peneliti berlomba-lomba menemukan sumber energi alternatif sebagai pengganti energi fosil.

Indonesia sebagai negara agraris mempunyai potensi besar dalam memanfaatkan limbah pertanian yang melimpah sebagai sumber energi alternatif. Limbah pertanian tersebut antara lain jerami padi, tongkol jagung, sabut kelapa, dll. Sejauh ini limbah-limbah tersebut hanya ditinggalkan diladang tanpa ada upaya khusus untuk menjadikannya lebih bermanfaat. Telah banyak penelitin mengenai pemanfaatan bahan organik maupun non-organik seperti : Serbuk kayu jati (Fatimah et al., 2005), kayu cemara (Rath et al., 2002), tyre wastes (Fernandez et al., 2009), rubber (Charpenay et al., -), Kayu Pelawan (Panagan et al., 2009). Pada penelitian ini bahan yang diteliti yaitu jerami padi. Saat ini jerami padi yang masih hijau hanya sebatas digunakan sebagai makanan ternak, sedangkan jerami padi yang kering oleh masyarakat akan dibakar begitu saja. Hal ini akan menghasilkan polutan (CO2, NOx, SOx) yang dapat merusak lingkungan dan penyumbang gas rumah kaca[9]. Walaupun jerami hijau banyak dimanfaatkan sebagai pakan ternak, kenyataannya keberadaannya masih sangatlah berlimpah, sehingga masih banyak jerami padi yang oleh petani dibiarkan terbengkalai di ladang untuk kemudian dibakar begitu saja. Hal tersebut memicu pikiran kreatif inovatif untuk membuatnya menjadi lebih bermanfaat bagi masyarakat selain sebagai pakan ternak. Padi merupakan tanaman yang secara periodik ditanam masyarakat dan terus berulang. Sehingga keberadaan jerami padi hampir setiap saat ada di Indonesia. Dengan proses pirolisis sampah pertanian organik seperti jerami padi yang merupakan biomassa dapat diolah menjadi tar atau bio-oil yang lebih berguna dan dapat mengatasi permasalahan krisis energi yang terjadi.

Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal bahan organic pada temperature sekitar 350-550 ^{o}C tanpa oksigen (Cahyono, 2013). Peminimalan oksigen dapat dilakukan dengan mengalirkan nitrogen pada tabung pemanas, sehingga oksigen dalam tabung dapat diminimalisir. Dalam proses pirolisis, ukuran partiker sampah diperkecil untuk mempermudah reaksi didalam tabung pemanas. Alat pirolisis dipanaskan pada suhu tertentu dalam selang waktu tertentu. Setelah dipanaskan, proses prolisis akan menghasilkan produk yang berupa padatan (bio-coal), cair (bio-oil) dan gas (*synsgas*) (Cahyono, 2013) yang memiliki nilai kalor sehingga dapat digunakan sebagai sumber alternatif bahan bakar. Melalui proses pirolisis ini selain didapatkan bahan bakar alternatif juga berkontribusi dalam mengurangi volume sampah organik. Terdapat banyak parameter yang mempengaruhi bio-oil hasil pirolisis sampah organik. Parameter-parameter tersebut diantaranya adalah temperatur, waktu reaksi, ukuran partiker, kadar air, laju reaksi dan tekanan dalam alat pirolisis.

Bio-oil atau tar biomassa yang di cadang-cadang akan dijadikan sumber energi alternatif pengganti energi bahan bakar minyak yang non-renewable harus memiliki karakter yang mirip dengan karakter bahan bakar yang sudah ada untuk dapat digunakan. Karakter-karakter atau parameter yang menentukan kualitas serta tingkat kelayakan bio-oil yang dijadikan sebagai pengganti bahan bakar minyak tersebut antara lain adalah densitas/massa jenis, viskositas, titik tuang, titik nyala dan nilai kalor.

Melihat kondisi serta ketersediaan bahan baku biomassa jerami padi yang melimpah, pada penelitian ini penulis ingin menyelidiki pengaruh temperatur pemanasan terhadap banyaknya char dan tar atau bi-oil hasil pirolisis serta kualitas bio-oil atau tar yang dihasilkan dengan menghitung nilai densitas, viskositas,dan volume tarnya.

STUDI PUSTAKA

Biomassa

Biomassa terbentuk dari makhluk hidup dalam waktu yang singkat. Tidak seperti minyak bumi yang membutuhkan waktu berjuta-juta tahun untuk dapat terbentuk menjadi bahan bakar minyak mentah. Biomassa memiliki kandungan-kandungan yang dapat dirubah menjadi energi melewati tahapan atau proses tertentu. Berbeda dengan minyak bumi yang memiliki bentuk gas dan cair, biomassa berbentuk padatan sehingga sulit untuk ditransportasikan. Proses tertentu yang dapat merubah biomasa menjadi suatu bentuk energi alternatif yaitu proses pirolisis (Cahyono, 2013)

Tanaman Padi

Tanaman padi merupakan tanaman semusim yang memiliki tinggi tanaman antara 1 sampai 1,5 cm, daun berbentuk pita dan berpelepah yang tumbuh pada tiap buku batang. Anakan padi tumbuh dari tunas yang berasal pada tiap-tiap buku batang dan mampu tumbuh sampai 40-50 batang anakan (Soemartono dan Haryono, 1972) Berdasarkan tempat tanamnya padi dibedakan menjadi enam yaitu padi sawah, padi gogo, padi gogo rancah, padi pasang surut, padi lebak dan padi apung. Padi sawah merupakan padi yang ditanam diareal tanah yang mampu menjaga genangan air pada periode tertentu dalam

pertumbuhannya (AAK, 1992). Biomassa jerami padi adalah bagian batang dan tangkai tanaman padi setelah dipanen butir-butir buahnya (Komar, 1984). Jerami padi mengandung 37,71% selulosa, 21,99% hemiselulosa, dan 16,62% lignin (Dewi, 2002).

Proses Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses konversi bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH4, dan H2) melalui proses pembakaran dengan suplai udara terbatas (20% - 40% udara stoikiometri). Proses gasifikasi merupakan suatu proses kimia untuk mengubah material yang mengandung karbon menjadi gas mampu bakar. Berdasarkan definisi tersebut, maka bahan bakar yang digunakan untuk proses gasifikasi menggunakan material yang mengandung hidrokarbom seperti batubara, petcoke (petroleum coke), dan biomassa. Bahan baku untuk proses gasifikasi dapat berupa limbah biomassa, yaitu potongan kayu, tempurung kelapa, sekam padi maupun limbah pertanian lainnya. Gas hasil gasifikasi ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan sebagai sumber bahan bakar, seperti untuk menjalankan mesin pembakaran, digunakan untuk memasak sebagai bahan bakar kompor, ataupun digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik sederhana. Melalui gasifikasi, kita dapat mengkonversi hampir semua bahan organik kering menjadi bahan bakar, sehingga dapat menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber bahan bakar.

Ada empat tahapan dalam proses gasifikasi yaitu pengeringan, pirolisis, reduksi dan oksidasi dengan rentang temperatur masing-masing proses, yaitu:

1. Pengeringan: T < 150 °C
2. Pirolisis/Devolatilisasi: 150 < T < 700 °C
3. Reduksi: 800 < T < 1000 °C
4. Oksidasi: 700 < T < 1500 °C

Proses Pirolisis

Pirolisis berasal dari dua kata yaitu pyro yang berarti panas dan lysis yang berarti degradasi atau penguraian, sehingga pirolisis berarti penguraian biomassa karena suhu lebih dari 150^{o} C (Hermayana, 2017). Menurut sumber lain, Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia dari material organik, yang berlangsung tanpa udara atau oksigen. Menurut Basu (2010), pirolisis biomassa umumnya berlangsung pada rentang temperatur 300^{o}C sampai dengan 600^{o}C. Produk dari proses pirolisis ini tergantung dari beberapa faktor diantaranya temperatur pirolisis dan laju pemanasan. Secara umum produk pirolisis dapat diklasifikasi menjadi tiga jenis yaitu :

- Produk padat : berupa residu padat yang kaya kandungan karbon (char)
- Produk cair : berupa (tar, hidrokarbon, dan air)
- Produk gas (CO, H2O, CO2, C2H2, C2H4, C2H6, C6H6 dll).

Tabel 1. Macam – Macam Pirolisis [18].

pyrolysis process	heating velocity [°C/s]	residence time [s]	main product(s)
slow	<< 1	300 – 1800	char gas, oil, char
fast	500 – 100000	0.5 – 5	oil
flash	> 10^5	< 1 < 1 < 0.5	oil gas gas

Tar

Tar merupakan salah satu produk dari proses pirolisis yang berupa liquid. Tar dihasilkan dari uap yang dikondensasikan sehingga terjadi perubahan fase dari uap menjadi cair. Pada dasarnya tar mengan dung air dan juga mengandung char yang ikut terbawa selama proses pirolisis, dan char yang terkandung tergantung dari alat masing-masing.Nama lain dari tar adalah bio-oil, pyrolisis oil,bio-crude oil,wood oil, wood liquids dan liquid smoke. Tar terbentuk dari depolimerisasi dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Komposisi kimia yang ada pada tar yaitu formaldehid, asam asetat, fenol, dan anhydrosugar.

Kualitas dari tar ini dapat dilihat dari berat minyak yang dihasilkan dan nilai kalor yang dimiliki oleh tar. semakin berat massa tar maka semakin baik kualitas dari tar. selain itu semakin tinggi nilai kalor yang dimiliki tar maka semakin baik pula kualitas dari ini. Air di dalam tar ini merupakan akibat dari uap air yang ikut terkondensasi sehingga ikut terjebak dengan tar. Tar memiliki fungsi untuk pembakaran, bahan bakar mesin diesel dan Combustion Turbines.

Char

Char adalah bahan padat yang tersisa setelah gas ringan dan tar telah dikeluarkan atau dilepaskan dari bahan karbon selama tahap awal pembakaran, yang dikenal sebagai karbonisasi, pengadukan, devolatilisasi atau pirolisis. Char mempunyai komposisi yang berbeda-beda tergantung bahan baku yang digunakan. Menurut Mullen (2010) komposisi utama dari char adalah karbon (85%), oksigen, dan hidrogen. Tidak seperti bahan bakar yang berasal dari fosil, bio-char mengandung bahan inorganik berupa abu. LHV dari bio-char sekitar 32 MJ/kg. Nilai LHV lebih tinggi daripada asap cair maupun biomassa (Basu, 2010). Char dapat di manfaatkan menjadi sebuah karbon aktif yang berupa bahan bakar padat yang dapat di gunakan untuk industri metalurgi, sebagai bahan bakar yang dapat untuk

memasak atau memanggang. Cara penggunaan char atau arang ini dapat digunakan secara langsung tanpa harus melalui densifikasi.

Parameter Proses Pirolis

Material ligneselulosa yang mengalami proses pirolisis akan berubah sifak fisik dan sifat kimianya. Perubahan ini ditentukan oleh berbagai parameter proses yang terlibat. Parameter tersebut meliputi temperatur operasi, laju pemanasan, waktu tinggal material, kehadiran oksigen, kadar air, ukuran partiker material dan tekanan [20].

Senyawa Pembentuk Bio-oil

Senyawa yang terbentuk didalam bio-oil pada umumnya terbentuk atas ikatan carbon (C) dan hydrogen (H), dan terbentuk dari ribuan senyawa hidrokarbon yang berbeda di dalam bahan bakar cair. Senyawa hidrokarbon memiliki formula senyawa CxHy dimana x dan y merupakan angka yang menunjukkan bilangan nomor hidrokarbon. Contoh hidrokarbon yang memiliki angka terkecil yaitu gas metan (CH4) yang merupakan ikatan hidrokarbon dari gas alam. Pengelompokkan jenis bahan bakar ditentukan dari nomor carbon (C) yang terkandung didalam senyawa hidrokarbon. Pada tabel 2 menunjukkan perkiraan rentang hidrokarbon dan boiling point pada bahan bakar alam. Boiling point akan menentukan temperatur perubahan fasa pada saat proses kondensasi. Pada boiling point rendah akan menghasilkan produk dengan ikatan hidrokarbon rendah, contoh seperti light gases. Sedangkan pada boiling point yang lebih tinggi akan menghasilkan ikatan hidrokarbon yang lebih berat, contoh seperti heavy gas oil dan aspal.

Unjuk Kerja Proses Pirolisis

Pengaruh temperature terhahadap cahr dan tar hasil pirolisisi diuji dengan menghitung parameter-parameter di bawah ini :

a. Densitas atau Massa Jenis

Densitas merupakan kerapatan suatu cairan atau perbandingan antara massa cairan dan volume cairan. Berat jenis minyak adalah perbandingan antara rapat minyak pada suhu tertentu. Densitas dirumuskan :

$$\rho = \frac{m}{v}, \qquad \text{.....(1)}$$

dengan :

$\rho = massa\ jenis\ (^{kg}/_{m^3})$
$m = massa\ (kg)$
$v = volume\ (m^3)$

b. Viskositas

Viskositas merupakan suatu angka yang menyatakan besarnya hambatan dari suatu jenis zat cair untuk mengalir atau ukuran dari besarnya tahanan geser cairan. Viskositas dirumuskan seperti persamaan 2 di bawah ini :

$$\mu_x = \frac{t_x \rho_x}{t_a \rho_a} \mu_a, \qquad \text{.....(2)}$$

dengan :

$\mu_x = viskositas\ cairan\ yang\ dicari\ (cP)$
$t_x = waktu\ alir\ cairan\ (s)$
$\rho_x = massa\ jenis\ cairan\ yang\ dicari\ (\frac{g}{cc})$
$\mu_a = viskositas\ aquades\ (cP)$
$t_a = waktu\ alir\ aquades\ (s)$
$\rho_a = massa\ jenis\ aquades\ (\frac{g}{cc})$

3. Volume Tar

Volume tar merupakan kapasitas tar yang dihasilkan dari proses pirolisis dalam kurun waktu yang sudah di tentukan.

4. Massa Char

Massa char merupakan banyaknya char yang dihasilkan dalam setiap proses pirolisis.

Tabel 2 menunjukkan nilai densitas serta viskositas bahan bakar minyak premium dan solar sebagai pembanding kualitas bio-oil hasil penelitian.

Tabel 2. Parameter kualitas bio-oil atau tar

Parameter	Bensin	Solar
Densitas	710 sampai 770 kg/m3	815 sampai 870 kg/m3
Viskositas	0,70cP	0,930 cP

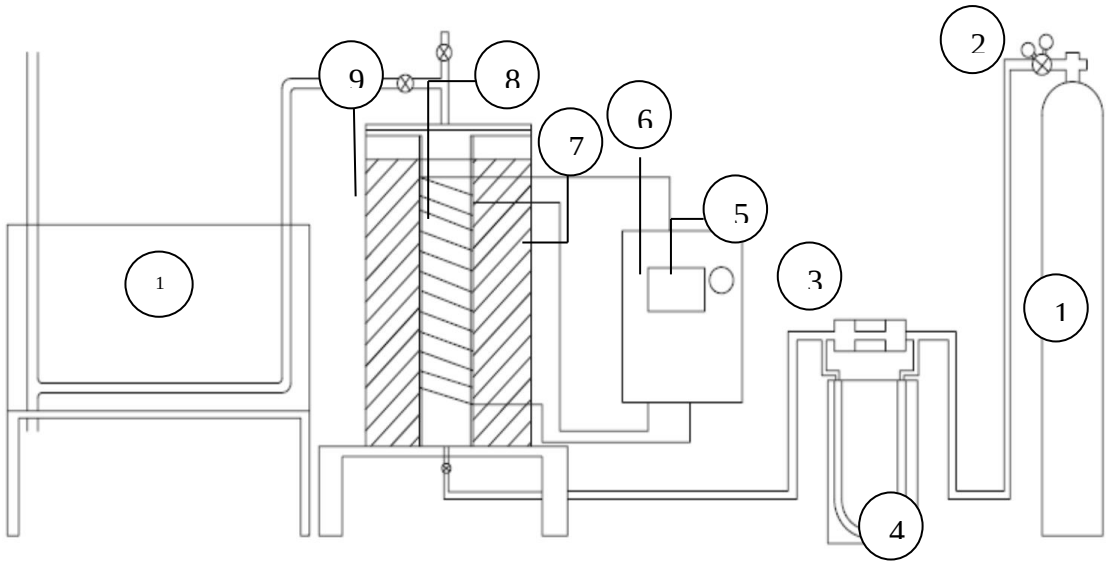
METODE

1. Bahan Penelitian

Bahan baku penelitian ini adalah sampah organik berupa jerami kering yang didapatkan dari lokasi Dusun Tawang Sari Desa Semowo Kecamatan Pabelan Kabupaten Semarang. Bahan baku tersebut dikeringkan sampai kadar air 2 %. Setelah itu bahan dicacah sampai ukuran maksimal 1 cm dalam sekali pengambilan data pirolisi digunakan bahan baku jerami sebanyak 200 gram. Selain jerami dalam proses pirolisis ini juga digunakan gas N2 yang digunakan untuk mereduksi kandungan O2.

2. Instalasi Alat Pirolisis

Instalasi alat pirolisi yang digunakan adalah sesuai dengan gambar 1.



Gambar 1. Instalasi Penelitian

Keterangan :
1. Tabung Gas N2
2. Pressure Gauge
3. Orifice
4. Manometer U
5. Potensiometer
6. Thermocontrol Cawan (wadah spesimen)
7. Thermocouple
8. Heater
9. Isolator
10. Bak pendinginan

3. Prosedur Penelitian

Tahap Persiapan Bahan

Jerami dikeringkan sampai kadar airnya mencapai 2%. Setelah tingkat kadar air jerami mencapai yang ditargetkan, jerami dicacah dengan ukuran 0.5cm-1cm. Kemudian, dilakukan penimbangan jerami dengan massa 200 gram untuk kemudian ditampung ke dalam gelas beker dan dimasukkan ke alat piroliser.

Proses Pirolisis

Setelah gelas beker terisi dengan jerami yang telah dicacah, gelas beker dimasukkan ke dalam ruang pemanas piroliser dan kemudian ditutup. Kemudian katup N2 dibuka sehingga gas N2 dapat mengalir menuju ruang pemanas samapai kadar O2 dalam ruang pemanas mencapai ±2 % dari volume ruang pemanas. Setelah itu thermocontrol diatur pada suhu yaitu 250 ^{o}C. Setelah itu piroliser dinyalakan dan katup keluar piroliser dibuka agar gas O2 hilang dari ruang pemanas. Setelah waktu yang sudah ditentukan piroliser dimatikan dan padatan hasil pirolisi dikeluarkan dan tar yang sudah terbentuk ditampung dalam gelas ukur. Percobaan tersebut diulangi untuk variasi suhu selanjutnya yaitu: 350, 450 dan 550^{o}C.

Pengujian kualitas tar/ bio-oil

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas bio-oil atau tar yang dihasilkan dalam proses pirolisis. Untuk mengetahui kualitas tar yang dihasilkan dilakukan pengujian terhadap beberapa parameter-parameter seperti densitas, viskositas, titik tuang, titik nyala dan nilai kalor tar.

Pengujian Nilai Densitas Tar

Gelas bersekala kosong ditimbang, kemudian cairan dimasukkan kedalam gelas tersebut, gelas bersekala yang sudah berisi cairan ditimbang ulang, kemudian berat dari cairan di bagi volume, maka didapatlah massa jenis dari cairan tersebut.

Pengujian Nilai Viskositas Tar

Pada viscometer Ostwald yang diukur adalah waktu yang dibutuhkan oleh sejumlah cairan tertentu untuk mengalir melalui pipa kapiler dengan gaya yang disebabkan oleh berat cairan itu sendiri. Sejumlah cairan dipipet kedalam viscometer. Cairan kemudian dihisap melalui labu pengukur dari viscometer sampai permukaan cairan lebih tinggi dari batas a, cairan kemudian dibiarkan turun ketika permukaan cairan turun melewati batas a, stopwatch mulai dinyalakan dan ketika cairan melewati tanda batas b, stopwatch dimatikan. Jadi waktu yang dibutuhkan cairan untuk melalui jarak antara a dan b dapat ditentukan.

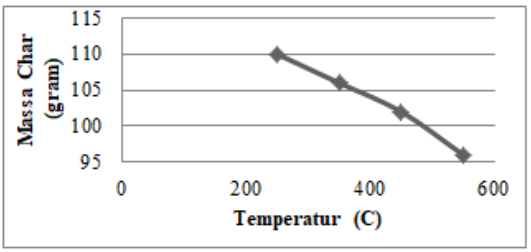
Pengujian volume Tar

Pengujian Volume tar dilakukan dengan cara menghitung jumlah tar yang dihasilakan dalam proses pirolisis dalam kurun waktu sampai 3 jam.

Pengujian massa Char

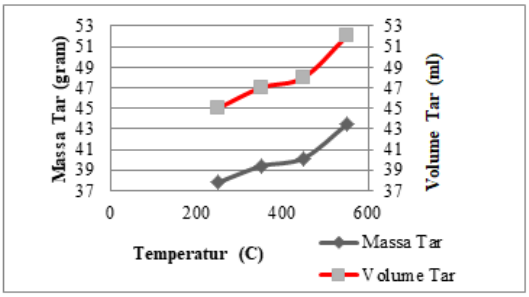
Pengujian massa Char dilakukan dengan cara menghitung massa char yang dihasilakan dalam proses pirolisis dalam kurun waktu 3 jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN



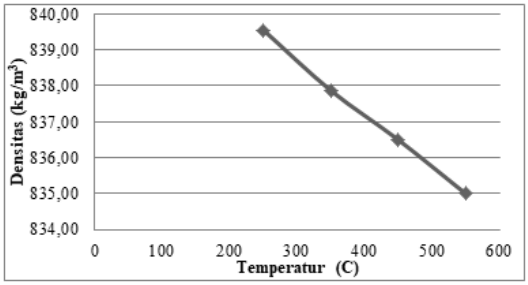
Gambar 2. Grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap perubahan massa char

Char merupakan bahan berbentuk padatan yang mengandung sampai 85 % karbon sedang sisanya adalah oksigen dan hidrogen. Pemanfaatan char dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam industri metalurgi. Massa char dihitung dengan menimbang char hasil proses pirolisis selama selang waktu pemanasan yang telah ditentukan. Gambar 2 merupakan grafik pengaruh temperatur terhadap massa char hasil proses pirolisis untuk empat variasi temperatur pemanasan. Terlihat bahwa massa char yang dihasilkan menurun saat temperatur pemanasan dinaikkan . hal tersebut disebabkan karena terjadinya dekomposisi biomassa yang semakin terdekomposisi terus menerus seiring dengan peningkatan temperature. Massa char untuk temperatur 250oC adalah 110 gram, temperatur 350oC 106 gram, temperatur 450oC adalah 102 gram dan temperatur 550oC adalah 96 gram. Pada temperatur 550OC proses dekomposisi jerami padi terlihat semakin baik dan dibuktikan dengan semakin sedikitnya padatan yaitu sebesar 48%.



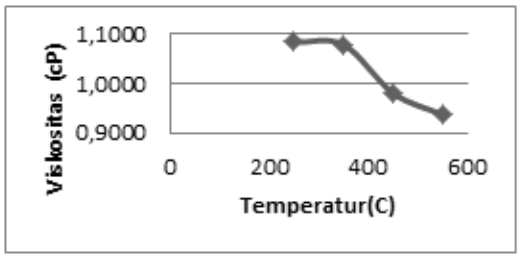
Gambar 3. Grafik pengaruh temperatur pirolisis terhadap perubahan massa dan volume tar

Tar merupakan bahan berbentuk cairan yang dihasilkan dalam proses pirolisis. Selama selang waktu yang ditentukan tar di tampung dalam gelas ukur untuk kemudian diukur volumenya dan kemudian ditimbang massanya menggunakan timbangan digital. Gambar 3 menunjukkan pengaruh temperatur pemanasan pada proses pirolisis terhadap massa serta volume yang dihasilkan selama proses pirolisis. Terlihat dari Gambar 10 bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka massa serta volume tar yang dihasilkan semakin meningkat. Hal tersebut disebabkan karena bertambahnya jumlah senyawa-senyawa tar yang dibebaskan dari dekomposisi jerami padi seiring dengan peningkatan temperature. Massa Tar untuk temperatur 250oC adalah 37,78 gram, temperatur 350oC adalah 39,38 gram, temperatur 450oC adalah 40,15 gram dan temperatur 550oC adalah 43,42 gram. Sedangkan volume tar untuk temperatur 250oC adalah 45 ml, temperatur 350oC adalah 47 ml, temperatur 450oC adalah 48 ml dan temperatur 550oC adalah 52 ml. Massa tar terbesar didapatkan pada saat temperatur pemanasan 550oC. Hal tersebut menunjukkan bahwa semain tinggi temperatur pemanasan maka kualitas tar pirolisis semakin baik.



Gambar 4. Grafik pengaruh temperatur pemanasan terhadap perubahan densitas tar

Dari Gambar 4 terlihat bahwa tingkat densitas atau massa jenis tar menurun saat temperatur pemanasan pada proses pirolisis dinaikkan. Hal tersebut disebabkan karena peningkatan massa tar-nya lebih kecil dibandingkan dengan peningkatan volumenya. Densitas tar untuk temperatur 250°C adalah 839,6 $^{kg}/_{m^3}$, temperatur 350°C adalah 837,9 $^{kg}/_{m^3}$, temperatur 450°C adalah 836,5 $^{kg}/_{m^3}$dan temperatur 550°C adalah 835,0 $^{kg}/_{m^3}$. Dari data tersebut nampak bahwa perubahan temperatur pemanasan tidak memberi pengaruh yang terlalu besar terhadap perubahan densitas tar. Rata-rata densitas tar yang dihasilkan adalah 837,2 $^{kg}/_{m^3}$. Nilai densitas tersebut mendekati nilai densitas bahan bakar fosil (solar) yaitu 815 sampai 870 kg/m3 seperti disebutkan pada tabel 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa tar hasil pirolisis jerami padi memenuhi kualitas bahan bakar fosil dari segi densitasnya.



Gambar 5. Grafik pengaruh temperatur pemanasan terhadap perubahan viskositas tar

Dari Gambar 5 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan dalam proses pirolisis maka semakin rendah nilai viskositasnya. Hal tersebut disebabkan karena semakin tinggi temperatur maka volume tar yang dihasilkan meningkat seperti yang terlihat dari Gambar 3. Selain itu penurunan nilai viskositas tersebut juga disebabkan karena semakin tinggi temperature akan menghasilkan rantai karbon yang makin sederhana sehingga akan mengyhasilkan nilai viskositas yang semakin rendah.

Dari grafik terlihat bahwa nilai vskositas tar untuk temperatur 250^{o}C adalah 1,080 cP, temperatur 350^{o}C adalah 1,0787 cP, temperatur 450^{o}C adalah 0,9809 cP dan temperatur 550^{o}C adalah0,9374 cP. Dari data tersebut didapatkan rata-rata nilai viskositas tar jerami padi yaitu 1,0203 cP. Nilai viskositas tar hasil pirolisis tersebut lebih besar dibandingkan dengan viskositas aquades sehingga tar yang dihasilkan lebih kental jika dibandingkan dengan aquades. mendekati nilai sebenarnya dari viskositas bahan bakar solar yang telah ada yaitu 0,930 cP seperti ditunjukkan oleh tabel 2. hal tersebut menunjukkan bahwa tar hasil proses pirolisis jerami padi ini memenuhi syarat dari segi nilai viskositas untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang mulai kritis ketersediannya.

KESIMPULAN

Pengaruh variasi temperature terhadap kualitas char dan tar hasil proses pirolisis jerami padi telah diteliti. Ditemukan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan proses pirolisis maka massa char atau padatan arang yang didapatkan semakin sedikit berbanding terbalik dengan massa serta volume tar yang justru semakin meningkat saat suhu dinaikkan.

Densitas tar dihitung dengan membandingkan massa dengan volume tar hasil tiap proses pirolisis. Diperoleh hasil yakni semakin tinggi temperatur pemanasan proses pirolisis maka densitas tar yang dihasilkan semakin besar. Hal tersebut dikarenakan kenaikan massa tar setia kenaikan temperature kebih besar jika diibandingkan dengan penambahan volumenya. Namun, perubahan densitas tar akibat perbedaan temperatur tidak terlalu besar sehingga temperatur pemanasan kurang berpengaruh terhadap nilai densitas tar. Densitas tar hasil percobaan memiliki nilai rata-rata 837,2 $^{kg}/_{m^3}$. Hasil tersebut mendekati nilai densitas solar yaitu 815 sampai 870 kg/m3.

Selain itu, dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan maka nilai viskositas tar hasil penelitian semakin kecil. Viskositas rata-rata tar hasil percobaan adaah 1,0230 cP. Nilai viskositas tersebut lebih besar dibandingkan dengan viskositas aquades sehingga tar yang dihasilkan lebih kental jika dibandingkan dengan aquades dan mendekati nilai sebenarnya dari viskositas bahan bakar solar yang telah ada yaitu 0,930 cP seperti ditunjukkan oleh tabel 2. hal tersebut menunjukkan bahwa tar hasil proses pirolisis jerami padi ini memenuhi syarat dari segi nilai viskositas untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang mulai kritis ketersediannya.

DAFTAR PUSTAKA

Basu, Prabir. 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Academic Press. Elsevier

Bridgeman, T.G. 2008. Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties. Energy & Resources Research Institute, School of Process, Environmental and Materials Engineering, University of Leeds. Leeds LS2 9JT. UK

Cahyono. M Sigit. 2013. Pengaruh Jenis Bahan Pada Proses Pirolisis Sampah Organik menjadi Bio-Oil sebagai Sumber Energi Terbarukan. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan. Volume 5, Nomor 2 Juni 2013 Hal 67-76.

Charpenay, Sylvie., et., al. Pyrolysis Kinetik of Waste Tire Constituents: Extender Oil, Natural Rubber, and Syrene-Butadlene Rubber. Advanced Fuel Research, Inc., 87 Church Street, East Hartford, CT 06108-3742.

Ciolkosz, Daniel. 2011. A review of torrefaction for bioenergy feedstock production. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons,Ltd

Dewi. 2002. Hidrolisis Limbah Hasil Pertanian Secara Enzimatik. Akta Agrosia. No. 2, Vol. 5, 67 – 71.

Fatimah, Is., et., al, 2005. Identifikasi Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati Menggunakan Principal Component Analysis. Jurnal Ilmu Dasar Vol. 6 No. 1, 2005: 41-47.

Fernandez., et., al. 2009. Pyrolysis of Tyre Waste. 1st Spanish National of Conference on Advances in Materials Recycling and Eco-Energy Madrid 12-13 November 2009.

Hermayana, R.F.S., 2017, Pirolisis

Campuran Bagas Tebu Dan Minyak Biji Karet Dengan Perbandingan Reaktan Yang Berbeda Menjadi Bahan Bakar Cair Menggunakan Zeolit-A Berbasis Silika Sekam Padi Sebagai Katalis, Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

https://bisnis.tempo.co/read/1182428/pertamina-2030-indonesia-akan-kehabisan-cadangan-minyak-bumi. Diakses 18 April 2019b

https://www.kompasiana.com/cakmat/599aefc15af02c183e6ca1d2/cadangan-energi-indonesia-menipis-saatnya-melek-energi-terbarukan. Di akses 18 April 2019

Karlsson, Josefine. 2013. Evaluation of Torrefaction Pilot Plant in Klintehamn, Gotland. Department of Chemical Engineering, Lund University, Sweden

Kazimierski, Kardas. 2017. Influence of Temperature on Composition of Wood Pyrolysis Products. DRVNA INDUSTRIJA 68 (4) 307-313 (2017)

Kehinde M. Adeleke, Olukunle E. Itabiyi dan Olutosin O. Ilori. 2018. Temperature effect on the product yield from pyrolysis of cassava peels. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 9, Issue 4, April-2018 953 ISSN 2229-5518

Komar, A. 1984 Teknologi Pengolahan Jerami Padi Sebagai Pakan Ternak. Bandung: Dian Grahita..

L.Aguiar, F. Marquez-Montesinos, A. Gonzalo, J.L. Sanchez dan J. Arauzo. 2008. Influence of temperature and particle size on fixed bed pyrolisis of orange peel residues. Journal of Analytical and Applied Pyrolisis Volume 3, Issue 1. September 2008, Pages 124-130.

Luo, Siyi, et al. 2010. Influence of particle size on pyrolysis and gasification performance of municipal solid waste in a fixed bed reactor. Bioresource Technology, V. 101, P. 6517–6520

Ohliger, Andreas, et all. 2012. Torrefaction of beechwood: A parametric study including heat of reaction and grindability. Fuel Journal

Panagan., et., al. 2009. Uji Daya Hambat Asap Cair Hasil Pirolisis Kayu Pelawan (Tristania Albavata) Terhadap Bakter Echerichia Coli. Jurnal Penelitian Sains Edisi Khusus Desember 2009.

Park, J., Kim, P., Jang, J., Wang, Z., Hwang, B., Devries, K., 2008. Interfacial evaluation and durability of modified Jute fibers/polypropylene (PP) composites using micromechanical test and acoustic emission. Compos. Part B Eng. 39, 1042–1061.

Pious O. Okekunle, Temitayo O. Akogun, Gideon O. Alagbe dan Moses A. Osinuga. 2015. Experimental Investigation of the Effect of Reactor Temperatureon Soft and Hardwood Pyrolysis Characteristics in Fixed-Bed Reactor. Journal of Natural Sciences Research www.iiste.org ISSN 2224-3186 (Paper) ISSN 2225-0921 (Online) Vol.5, No.10, 2015

Pipat Pichestapong, Uthaiwan Incharean, Panchika Prapakornrattana dan Kanin Charoen. 2013. Effect of Temperature on Product Yield from the Pyrolysis of Soybean Cake in an Auger Reactor. Conference Paper (PDF Available) · October 2013.Conference: The 3rd TIChE International Conference 2013, At Khon Kaen University, Thailand, October 17-18, 2013, Volume: 1.

Pratiwi. Rimadani, Driyanti Rahayu, Melisa I. Barliana. 2016. Pemanfaatan Selulosa dari Limbah Jerami Padi (Oryza sativa) sebagai Bahan Bioplastik. Jurnal. IJPST Volume 3, Nomor 3, Oktober 2016

Rath, J., et., al. 2002. Heat of Wood Pyrolysis. Fuel 82 (2003) 81-91 Elsevier.

Rencana Strategis Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral 2015-2019. Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi.

Siswani, E.D, Susila Kristianingrum, Suwardi. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Pada Berbagai Waktu Dan Suhu. Seminar Nasional MIPA FMIPA UNY 2012.

Sridhar, G., et all. 2007. Torrefaction of Bamboo. 15th European Biomass Conference & Exhibition. Berlin Germany

Tumuluru, J. S., et al. 2011. Review on Biomass Torrefaction Process and Product properties and Design of Moving Bed Torrefaction System Model Development. ASABE Annual International, Meeting,Louisville. Kentucky

ANALISA PENGARUH PENGGUNAAN MEDIA PENDINGIN UDARA DAN AIR GARAM PADA SAMBUNGAN LAP JOINT TERHADAP SIFAT MEKANIK MENGGUNAKAN LAS SMAW

Muhammad Rizal Maghfiroh, Gatot Soebiyakto[*)], Akhmad Farid

Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang
[*)] email : gtotop.bgt@yahoo.com.au

ABSTRAK

Proses Pengelasan menggunakan sistem las (Shield metal arc welding) SMAW tidak lepas dari meningkatkan dari mutu industri untuk berkembang. Dan pengunaan las ini sangat umum digunakan di indudtrial. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi media pendingin menggunakan pendinginan udara dan pendingin air garam dengan menggunakan las SMAW dengan variasi sambungan lap joint, dengan pengujian impact dan struktur mikro. Nilai impact rata-rata 90.74 Joule dengan variasi media pendingin air garam, sedangkan nilai rata rata menggunakan variasi media pendingin menggunakan udara yaitu 118.54 Joule. Jadi nilai tertinggi rata-rata adalah menggunakan variasai pendinginan udara dengan nilai 118.54 Joule. Hasil uji metalografi menggunakan pengujian struktur mikro pembesaran 400x dan hasil foto struktur mikro dibuat hitam putih kedalam lembaran kertas mili meter untuk melihat ferit dan perlit. nilai rata-rata ferit tertinggi pada variasi media pendingin udara yaitu sebesar 90.44%. Sedangkan nilai rata-rata ferit terendah menggunakan variasi media pendingin Air garam yaitu sebesar 75.79%.

Kata Kunci: SMAW, Nilai impact, Metalografi, Lap joint, Media pendingin

PENDAHULUAN

Pengertian pengelasan menurut Widharto (2003) adalah salah satu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan. Berdasarkan definisi dari Deutche Industrie Normen (DIN) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. (Wiryosumarto dan Okumura (2004)) menyebutkan bahwa pengelasan adalah penyambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Paling tidak saat ini terdapat sekitar 40 jenis pengelasan. Dari seluruh jenis pengelasan tersebut hanya dua jenis yang paling populer di Indonesia yaitu pengelasan dengan menggunakan busur nyala listrik (Shielded metal arc welding/ SMAW) dan las karbit (Oxy acetylene welding/OAW). banyak di gunakan pada masa ini, cara pengelasan ini menggunakan elektroda logam yang di bungkus dengan *fluks*. Las busur listrik terbentuk antara logam induk dan ujung elektroda, karena panas dari busur, maka logam induk dan ujung elektroda tersebut mencair dan kemudian membeku bersama.

Metode pengelasan saat ini digunakan secara luas di dalam kehidupan manusia dari yang sederhana sampai yang rumit, misalnya pengelasan dalam air, pengelasan terbuka, pengelasan menggunakan gas, dan lain-lain. Luasnya penggunaan teknologi las ini disebabkan karena sistem pengelasan banyak digunakan didalam industri maupun non industri, dari pengeleasan yang murah hingga yang mahal tergantung sistem pengelasanya. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat dan mekanis suatu bahan ialah melalui sistem pengelasan sambungan lap joint. dengan proses pendinginan udara, dan pendinginan menggunakan air garam, dimana setelah proses pengelasan baja Astm a36 langsung didinginkan.

Dalam penelitian ini penulis melakukan analisis terhadap media pendingin yang paling optimal dari proses hasil pengelasan baja Astm a36. Dengan dua macam media pendingin diharapkan akan memberikan data atau informasi hasil penelitian dari uji impak dan uji metalografi dari Baja Astm a36 menjadi referensi ketahanan bahan dan stuktur bahan dari sistem pengelasan SMAW dengan sambungan lap joint dari variasi media pendingin udara dan air garam . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi media pendingin udara dan air garam terhadap uji impak pasca pengelasan serta mengetahui stuktur logam tersebut.

Pengembangan bidang rekayasa dan perancangan suatu komponen, menyebabkan penggunaan bahan dasar logam semakin meningkat. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan, berkenaan pula dengan produksi permesinan oleh industri, bahan hasil produksi yang akan dipakai pada pelaksanaan keteknikan harus mampu memenuhi

standar kualitas yang diisyaratkan agar hasil maupun pekerjaan dapat terjamin.

Kelemahan dari pengelasan diantara-nya adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah las yang menye-babkan turunnya kekuatan bahan dan akibat adanya tegangan sisa dan adanya cacat dan retak akibat proses pengelasan.

Sonawan (2004) tentang kampuh V, pengujian ini memakai jenis kampuh V terbuka dengan sudut kam-puh 70^{o}, *root opening* 2 mm, dan *root face* 1 dengan menggunakan arus las 60 am-pere, 70 ampere, dan 80 ampere. Jenis elek-troda yang digunakan adalah E 309 yang khusus untuk pengelasan *dissimilar* dengan posisi pengelasan 1G dengan kecepatan pengelasan 40 cm/menit. Setelah proses pengelasan selesai, pembuatan spesimen dilakukan untuk masing-masing pengujian 2,5 mm menggunakan arus 50, 60, 70 ampere dimana arus tersebut adalah arus yang rendah dari pada standarisasi arus pada Howard (1994) dimana untuk elektroda yang berukuran 2,5 arus paling rendah ada-lah 60 ampere.

Marihot (1988) juga mengatakan bahwa penggunaan kawat las dan besar arus yang lebih rendah sangat memungkinkan dipakai pada pengelasan terutama *stainless steel*. Adapula pendapat dari Basuki (2009) mengatakan semakin besar arus yang digunakan maka akan meningkatkan kekuatan mekanis. Oleh karena itu diperlukan dilakukan pengujian dengan variasi arus yang mencakup arus rendah dan tinggi menurut standar pemilihan arus untuk mengetahui nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang tinggi dan menghindari kegagalan sambungan.

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) juga sering disebut sebagai *stick welding*. Hal ini dikarenakan elektrodenya yang berbentuk stick. Proses pengelasan ini adalah proses pengelasan yang relative paling banyak dan luas penggunaannya. Electric arc adalah arus elektron yang kontinu mengalir melalui media yang pendek antara dua elektrode (+ dan -) yang diketahui dengan terjadinya energi panas dan radiasi udara atau gas antara elektrode akan diionisir oleh elektron yang dipancarkan oleh katoda.

Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan lahan. Pengujian Impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering di temui dalam transportasi atau konstruksi.

Pengujian Metalografi merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memperoleh gambar yang menunjukan struktur mikro sebuah logam atau paduan. Melalui proses ini kita dapat mengetahui struktur dari suatu logam atau paduan dengan memperjelas batas-batas butir logam sehingga dapat langsung dilihat dengan mikroskop dan diambil gambarnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan (*welding*) adalah salah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yangdilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pengelasan *bimetal* adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan *bimetal* mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektroda yang sesuai, pengaturan *heat input* yang tepat, serta pemilihan perlakuan panas pasca pengelasan yang tepat.

Quenching adalah proses perlakuan panas dimana prosesnya dilakukan dengan pendinginan yang relatif cepat dari temperatur austenisasi (umumnya pada jarak temperatur 815^{o}C-870^{o}C) pada baja. Keberhasilan proses *quenching* ditentukan oleh media *quenching* (*quenchant medium*) yang digunakan. Untuk menentukan media *quenching*, sangat bergantung pada mampu keras (*hardenability*) dari logam, ketebalan dan bentuk dari benda uji yang akan *quenching*. Serta struktur mikro yang diinginkan dari hasil proses *quenching*. Adapun media *quenching* yang sering digunakan adalah media cair (*liquid*) dan gas. Media *quenching* cair adalah oli, air, larutan polimer (*aquos polymer solution*), Larutan garam. Sedangkan media *quenching* gas adalah helium, argon, dan nitrogen atau udara bebas.

METODE PENELITIAN

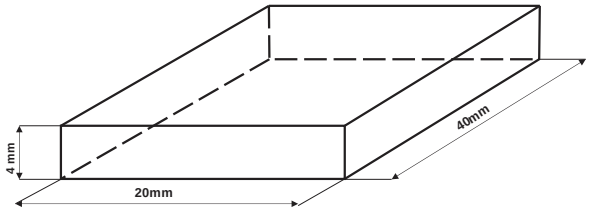
Metode penelitian adalah suatu cara yang digunakan dalam penelitian, sehingga pelaksanaan dan hasil penelitian bisa untuk dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara dua faktor yang berpengaruh. Eksperimen dilaksanakan dilaboratorium dengan kondisi dan peralatan yang sesuai standart.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (True Experimental

Research).Penelitian ini menitik beratkan tentang pengelasan SMAW menggunakan elektroda E 6013 3.2 mm dan menggunakan material baja astm a36 dengan variasi media pendingin udara dan air garam terhadap uji impak dan uji metalografi di daerah logam las dan haz di setiap posisi pengelaan.

1. Dimensi Benda Uji

Spesifikasi benda uji yang digunakan dalam eksperimen ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1 Dimensi benda uji

1. Bahan yang digunakan adalah ASTM-A36
2. Ketebalan plat 4 mm
3. Panjang plat 40 mm
4. Lebar plat 20 mm

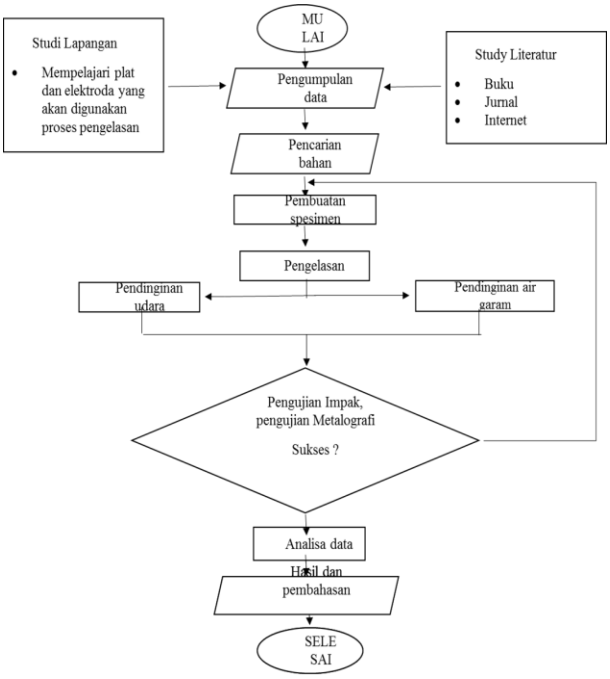
2. Variabel Penelitian

Terdapat dua variable penelitian ini, yaitu variable bebas dan variable terikat. Variabel bebas adalah variable yang ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi media pendingin udara dan air garam serta arus pengelasan 70 A dan lama waktu pendinginan 30 menit.

Variabel terikat adalah variable yang besarnya berkaitan pada variable bebas yang digunakan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah sifat mekanik (hasil uji impak dan hasil uji metalografi) pada sambungan Lap Joint.

3. Hipotesa

Pemberian media pendinginan menggunakan air garam langsung pada pengelasan SMAW sambungan Lap Joint diperkirakan akan mengalami perubahan sifat mekanik dan visual yaitu : impact dan metalografi akan meningkat.



Gambar 2. Diagram alir Penelitian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dari penelian diperoleh data penggunaan dua media pendingin yang berbeda. Dengan data yang diperoleh adalah dari uji impact dan uji struktur mikro dengan perbedaan pengaruh penggunaan media pendingin udara dan pendingin air garam.

Tabel 1 Hasil Uji Media Pendingin Air Garam

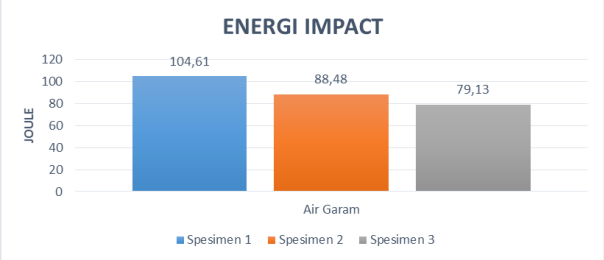
Spesimen	Waktu pendinginan (Menit)	Energi Impact (joule)	Beban Impact (Joule)	Harga Impact (J/mm²)
1	30	104.61	500	5.23
2	30	88.48	500	4.42
3	30	79.13	500	3.96

Jika dilihat dari hasil pengujian impact dengan metode charpy Energi impact yang dihasilkaan terhadap pendinginan air garam hasil tertinggi pada spesimen 1 yaitu 104,61 joule, sedangkankan nilai terendah dari hasil uji impact spesimen 3 yaitu sebesar 79,13 joule.

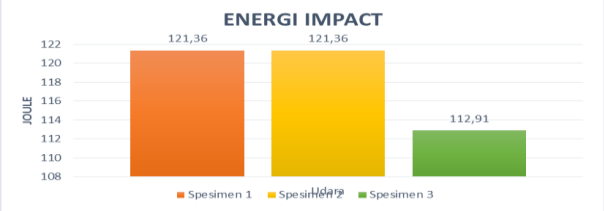
Tabel 2 Hasil Uji Impact Media Pendingin Udara

Spesimen	Waktu pendinginan (Menit)	Energi Impact (joule)	Beban Impact (Joule)	Harga Impact (J/mm²)
1	30	121.36	500	6.07
2	30	1121.36	500	6.07
3	30	112.91	500	5.65

Jika dilihat dari hasil pengujian impact dengan metode charpy Energi impact yang dihasilkaan terhadap pendinginan udara hasil tertinggi pada spesimen 1 dan 2 yaitu 121,36 joule, sedangkanan nilai terendah dari hasil uji impact spesimen 3 yaitu sebesar 112,91 joule.



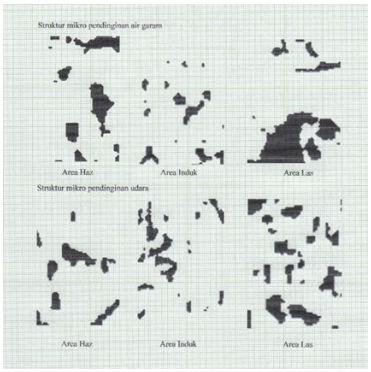
Gambar 3 Diagram batang enegi impact pendingin air garam



Gambar 4 Diagram batang energi impact pendingin udara

Dari diagram diatas hasil pengujian impact metode charpy nilai tertinggi rata – rata adalah menggunkan sistem pendingin udara, karena kurva pendinginan menunjukkan pendinginan secara cepat dari temperatur austenite sekitar suhu 920°C ke temperatur rendah atau temperatur kamar. laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensit dan didominasi perlit dari pada ferit. Fasa austenite akan mulai terdekomposisi menjadi martensit pada temperatur awal martensite terbentuk, martensit dan perlit merupakan larutan padat karbon didalam besi yang terbentuk dengan pendinginan cepat, sehingga sifat dari dari martensit dan perlit rapuh dan keras dan tidak memiliki keuletan. Pada pendinginan udara dengan pendinginan lambat dari temperatur 920°C ke suhu rendah atau suhu kamar. Pendingin lambat ini menyebabkan fasa austenit terdekomposisi menjadi fasa ferit dan perlit . dari struktur logam ferit terdapat unsur karbon yang hampir sama dan pada struktur ferit mendominasi daripada perlit sehingga material memiliki keuletan dan lunak dibanding pendinginan air garam dan kadar karbon lebih rendah dari air garam yaitu sekitar 0,3% – 0,85%.

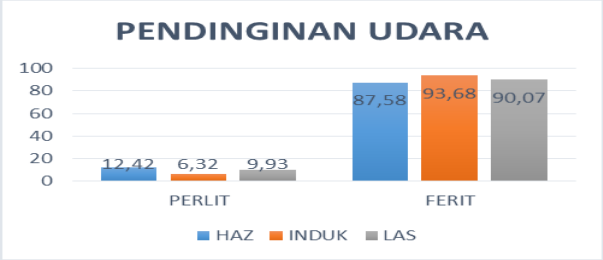
Hasil foto gelap terang menggunakan kertas milimeter untuk melihat struktur ferit dan perlit atau disebut gelap yaitu perlit dan terang adalah ferit. Gambar dari gelap terang mikro struktur baja astm a 36 adalah sebagai berikut.



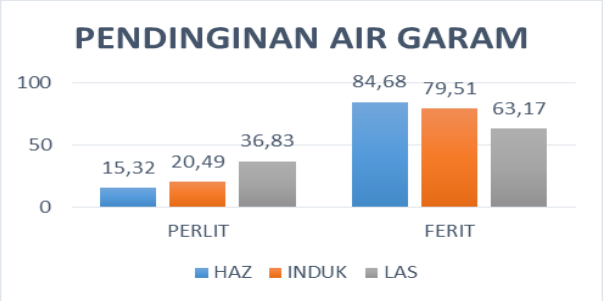
Gambar 5 hasil foto gelap terang menggunakan kertas milimeter pada baja ASTM A36

Bila dilihat dari gambar 5 foto dari gelap terang menggunakan kertas milimeter dapat dihasilkan luasan sebagai berikut :

1. Foto gelap terang menggunakan pendinginan Udara pada area Haz terdapat luasan 2800mm² dan terdapat struktur perlit 12.42%, sedangkan ferit terdapat luasan 87.58%. Pada area Induk terdapat luasan keseluruhan 2800mm² dan terdapat struktur perlit 6.32%, sedangkan ferit terdapat luasan 93.68%. Pada area Las terdapat luasan keseluruhan 3500mm² dan terdapat luasan struktur perlit 9.93%, sedangkan struktur ferit terdapat luasan 90.07%.
2. Foto gelap terang menggunakan pendingin Air garam pada area Haz terdapat luasan 2400mm² dan luasan struktur perlit 15.32%, sedangkan luasan struktur ferit 84.68%. Pada area Induk terdapat luasan 3000mm² dan luasan struktur perlit 20.49%, sedangkan luasan ferit 79.51%. Pada area Las terdapat luasan 3500mm² dan memiliki struktur perlit 36.83%, sedangkan luasan struktur ferit 63.17%.



Gambar 6 Diagram batang stuktur ferit dan perlit pendinginan udara



Gambar 7 Diagram batang struktur ferit dan perlit pendinginan air garam

KESIMPULAN

Berdasarkan dari data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa dari pengujian Impact yang dilakukan, didapatkan Energi Impact rata – rata yang terbesar pada penggunan variasi pendingin udara yaitu sebesar 118.54 Joule. Dari hasil uji kekerasan yang telah dilakukan didapatkan bahwa nilai Energi Impact Rata – rata yang terendah pada penggunaan variasi pendingin air garam yaitu sebesar 90.74 Joule. Dari hasil penelitian metalografi kita dapat mengetahui mikro struktur pada area las, area HAZ dan area induk pada baja astm a36.

DAFTAR PUSTAKA

Harsono Wiryosumarto dan Toshie Okumura. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam* (8th ed.). jakarta: PT. Pradya Paramita.

Kekerasan, U. J. I., Hasil, D., & Baja, L. A. S. (1988). Pengaruh gerak elektroda dan posisi pengelasan terhadap uji kekerasan dari hasil las baja ssc 41, 128–134.

Konstruksi perangkat las GTAW. (2010) Retrieved from http://schweissaufsicht.ansa.ch/wig/wig.htm

Las TIG (Tungsten Inert Gas Welding). (2013).Retrieved Desember 10, 2013, From http://wwwmanuli.de/

Malau. (2003). *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam* (V). yogyakarta: UGM.

Mesin, J. T., Kekuatan, T., Dan, T., Galvalum, M., Scfc, D., & Kediri, P. (2017). Jurnal Teknik Mesin , Volume 6 , Nomor 2 , Tahun 2017, *6*, 18–31.

Putra, I. E., Jurusan, D., Mesin, T., & Teknologi, F. (2013). *Pengaruh Perlakuan Panas Dan Perlakuan Pendinginan Pada Proses Pengelasan Besi Cor Dengan Las Busur Listrik Smaw* Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X

Rahadian, H. (2016). No Title. *Pengaruh Posisi Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Terhadap Kekuatan Tarik, Nilai Kekerasan Dan Foto Mikro*, 100.

Richardo, R., & Bahan, A. (2011). Pengaruh variasi media pendingin hasil sambungan las baja paduan terhadap nilai ketangguhan, *1*(1), 14–20.

Saputra, H., Syarief, A., Maulana, Y., Akhmad, J. L., & Km, Y. (2014). *Analisis Pengaruh Media Pendingin Terhadap Kekuatan* Program Studi Tenik Mesin , Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam Vol . 03 No . 2 pp 91-98 , 2014 ISSN 2338-2236, *03*(2), 91–98.

Soedjono. (1994). Berkreasi Dengan Logam (4th ed., p. 52). bandung: Bandung Remaja Rosda Karya.

Soetardjo. (1997). *Petunjuk praktek las asetilin dan las listrik* (1st ed.). surabaya: Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.

Sonawan, H. (2004). *Pengantar untuk memahami proses pengelasan logam* (III). bandung: Bandung Alfabeta.

Wiryosumarto, H. (2000). *Teknologi pengelasan logam*. jakarta: Pradnya Paramita.

Wiryosumarto, H. (2004). *Teknologi Pengelasan Logam*. jakarta: PT. Pradya Paramita.

ANALISA PENGARUH VARIASI MEDIA PENDINGIN AIR DAN OLI PADA SAMBUNGAN *LAP JOINT* TERHADAP SIFAT MEKANIK MENGGUNAKAN LAS SMAW (DC)

Sultoni, Nurida Finahari, M. Agus Sahbana[*)]

Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang
Email : sahbana@widyagama.ac.id

ABSTRAK

Pengelasan (Shield metal arc welding) SMAW merupakan bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan peningkatan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hampir tidak mungkin pembangunan suatu pabrik tanpa melibatkan unsur pengelasan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tarik dan nilai kekerasan pada hasil pengelasan SMAW posisi Lap joint dengan variasi media pendingin air dan oli. Nilai kekuatan tarik tertinggi rata-rata sebesar 113.03 Kgf/mm^2 dengan variasi media pendingin oli bekas 2 menit. Nilai kekerasan di daerah logam induk yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan air dengan waktu 2 menit yaitu sebesar 45.5 HRB. Nilai kekerasan tertinggi dari uji kekerasan di daerah logam las yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan oli bekas dengan waktu 2 menit yaitu sebesar 84.5 HRB. Nilai kekerasan tertinggi dari uji kekerasan di daerah logam HAZ yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan air dengan waktu 2 dan udara menit yaitu sebesar 59 HRB.

Kata Kunci: SMAW, Kekuatan Tarik, Nilai kekerasan, Lap joint, Media pendingin

PENDAHULUAN

Pengelasan merupakan bagian tak terpisahkan dari pertumbuhan peningkatan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa dan reparasi produksi logam. Hampir tidak mungkin pembangunan suatu pabrik tanpa melibatkan unsur pengelasan.

Pada area industrialisasi dewasa ini teknik pengelasan telah banyak dipergunakan secara luas pada penyambungan batang-batang pada konstruksi bangunan baja dan konstruksi mesin. Luasnya penggunaan teknologi ini disebabkan karena bangunan dan mesin yang dibuat dengan teknik penyambungan menjadi ringan dan lebih sederhana dalam proses pembuatanya.

Shield metal arc welding (SMAW) adalah sebuah proses penyambungan logam yang menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses pengelasan SMAW dihasilkan karena adanya lompatan ion (katoda dan anoda) listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material. Pada proses pengelasan SMAW jenis pelindung yang digunakan adalah selaput flux yang terdapat pada elektroda. Flux pada elektroda SMAW berfungsi untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. Flux ini akan menjadi slag ketika sudah padat.

Lap Joint atau biasa yang kita sebut sebagai sambungan tumpang adalah sambungan yang terdiri dari 2 buah benda kerja yang saling bertumpukan. Tipe sambungan las yang sering digunakan untuk pengelasan spot atau seam. Karena materialnya ini ditumpuk atau disusun sehingga sering digunakan untuk aplikasi pada bagian body kereta dan cenderung untuk plat tipis. Jika menggunakan proses las SMAW, GMAW atau FCAW pengelasannya sama dengan sambungan fillet.

Pada pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) itu ada berbagai macam cacat pengelasan, antara lain *undercutting, porositas, slag inclusion, crack*/ retak dan kurang penetrasi atau penembusan yang kurang sempurna. Hal ini sangat berbahaya sekali terhadap sifat mekanik dari sambungan pengelasan tersebut, apalagi sambungan Tumpang (*LAP Joint*) posisi benda kerjanya saling tindih serta posisi pengelasannya berada di tengah sudut ke dua benda. Salah satu cara untuk memperbaiki sifat dan mekanis suatu bahan ialah melalui perlakuan panas (Heat Treatment). Pendinginan langsung pada penelitian ini yaitu menggunakan media air dan oli. Air merupakan media pendingin yang mudah didapatkan serta ketersediaannya yang melimpah sedangkan untuk pendinginan media oli, penelitian ini juga berorientasi pada pemanfaatan limbah maka oli yang dipergunakan yaitu oli bekas kendaran sepeda motor. Dengan adanya variasi media pendingin, apakah nanti berpengaruh ke nilai tarik dan kekerasan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengelasan (*welding*) adalah salah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan. Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Norman*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yangdilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Pengelasan *bimetal* adalah proses pengelasan yang menyambungkan dua macam logam yang berbeda. Pengelasan *bimetal* mempunyai tingkat kerumitan yang lebih tinggi dibanding dengan pengelasan logam yang sejenis. Karena logam yang tidak sejenis mempunyai karakteristik yang berbeda satu sama lainnya. Sehingga proses pengelasan logam yang tidak sejenis membutuhkan beberapa teknik tertentu, misalnya pemilihan logam yang akan disambung harus tepat, pemilihan elektroda yang sesuai, pengaturan *heat input* yang tepat, serta pemilihan perlakuan panas pasca pengelasan yang tepat.

Quenching adalah proses perlakuan panas dimana prosesnya dilakukan dengan pendinginan yang relatif cepat dari temperatur austenisasi (umumnya pada jarak temperatur 815^{o}C-870^{o}C) pada baja. Keberhasilan proses *quenching* ditentukan oleh media *quenching* (*quenchant medium*) yang digunakan. Untuk menentukan media *quenching*, sangat bergantung pada mampu keras (*hardenability*) dari logam, ketebalan dan bentuk dari benda uji yang akan *quenching*. Serta struktur mikro yang diinginkan dari hasil proses *quenching*. Adapun media *quenching* yang sering digunakan adalah media cair (*liquid*) dan gas. Media *quenching* cair adalah oli, air, larutan polimer (*aquos polymer solution*), Larutan garam. Sedangkan media *quenching* gas adalah helium, argon, dan nitrogen. Penelitian ini akan menggunakan media pendinginan langsung yaitu air dan oli.

Air adalah suatu zat cair yang tidak mempunyai rasa, bau dan warna dan terdiri dari hidrogen dan oksigen dengan rumus kimia H2O. Karena air mempunyai sifat yang hampir bisa digunakan untuk apa saja serta mudah didapat dan juga ketersediaannya masih banyak. Air memiliki massa jenis yang besar daripada air garam, kekentalannya rendah sama dengan air garam. Laju pendinginan air lebih lambat dari pada air garam. Dalam penelitian ini air yang akan digunakan dalam proses pendinginannya yaitu air kran atau air tanah.

Oli memberi pendinginan yang lambat, oli ini sering digunakan di industri. Oli memiliki nilai viskositas atau kekentalan yang tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat. Untuk pendinginan yang kita pakai pada penelitian ini yaitu oli bekas pada kendaraan sepeda motor.

Oli bekas itu adalah oli yang sudah terpakai, meliputi bekas pemakaian dari mesin pabrik, mesin kendaraan bermotor roda dua atau roda empat, mesin kapal, mesin diesel, dan mesin-mesin yang lainnya (Anonim, 2014)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode penelitian eksperimental nyata (*True Experimental Research*).

Variabel Penelitian

Terdapat dua variable penelitian ini, yaitu variable bebas dan variable terikat. Variabel bebas adalah variable yang ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu :

- Variasi media pendingin air dan oli bekas.
- Arus pengelasan 70 A.
- Lama waktu pendinginan yaitu 2 menit, 1 detik atau celup dan tanpa media pendingin sebagai perbandingan.

Variabel terikat adalah variable yang besarnya berkaitan pada variable bebas yang digunakan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

- Sifat mekanik (kekuatan tarik dan nilai kekerasan)
- Sambungan Lap Joint.

Hipotesa

Media pendingin oli bekas akan berpengaruh pada nilai kekerasan dan kekutan tarik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Uji Kekuatan Tarik

Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini merupakan data setelah melakukan penelitian. Data yang didapat adalah kekuatan Tarik dan Kekerasan pada posisi pengelasan *lap joint* dengan variable waktu dan pendinginan yang telah ditentukan. Data hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Hasil uji statistik menggunakan program SPSS ditunjukkan pada Tabel 3.

Dari Tabel 3 untuk nilai rata-rata uji Tarik bisa dilihat pada kolom mean dan untuk nilai keseluruhan uji Tarik bisa dilihat pada kolom sum. Nilai tertinggi uji tarik yakni pada spesimen oli bekas dengan waktu 2 menit dengan nilai sebesar 113.0300 dan nilai terendah uji Tarik yakni 105.1567 pada spesimen pembanding yakni udara. Analisa selanjutnya yaitu menggunakan Uji T menggunakan aplikasi SPSS. Uji ini dilakukan untuk mencari apakah nilai tersebut sama atau

berbeda, karena bisa dilihat pada nilai rata-rata uji Tarik nilainya tidak terpaut jauh. Untuk melihat nilai tersebut dikatakan berbeda atau sama maka parameter yang di gunakan yaitu pada nilai sig. (2-tailed). Jika nilainya lebih dari 0.025 maka nilai tersebut dikatakan sama sedangkan jika nilainya dibawah 0.025 maka nilai tersebut berbeda.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik

No	Variasi Pendinginan	Jumlah Spesiment	Tensile Strenght Kgf/mm²
1	Pendinginan Udara	A	104.62
		B	103.69
		C	107.16
2	Pendinginan Celup Air	A	109.38
		B	103.10
		C	111.73
3	Pendinginan Air 2 Menit	A	106.29
		B	111.73
		C	109.18
4	Pendinginan Oli Bekas Celup	A	106.29
		B	110.16
		C	106.33
5	Pendinginan Oli Bekas 2 Menit	A	112.19
		B	109.18
		C	117.72

Tabel 2. Hasil Uji Kekerasan

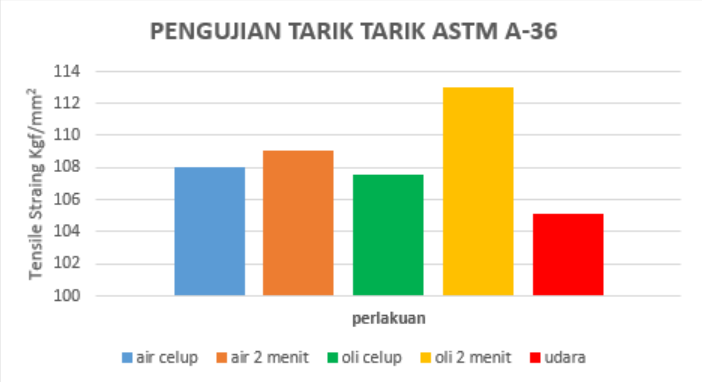
No	Variasi Pendinginan	Titik Pengujian	Daerah Logam Induk (HRB)	Kekerasan Daerah Las (HRB)	Kekerasan Daerah HAZ (HRB)
1	Pendinginan Air Celup	1	55	74	60
		2	35	67	53
2	Pendinginan Air 2 Menit	1	55	73	56
		2	36	68	62
3	Pendinginan Udara	1	54.5	67	54
		2	35	85	64
4	Pendinginan Oli Bekas Celup	1	54	83	56
		2	34	85	58
5	Pendinginan Oli Bekas 2 Menit	1	55.5	84	61
		2	35	85	56

Dari Tabel 4 Uji T air celup dan air 2 menit dapat di lihat untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,758 ,761) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji tarik dengan spesimen air celup dan air 2 menit dikatakan ada perbedaan.

Dari Tabel 5 Uji T air celup dan oli bekas celup dapat di lihat untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,876 ,879) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji tarik dengan spesimen air celup dan oli bekas celup dikatakan ada perbedaan nilai.

Dari Tabel 6 Uji T air 2 menit dan oli bekas celup dapat di lihat untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,508 ,509) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji tarik dengan spesimen air 2 menit dan oli bekas celup ada perbedaan nilai.

Dari Tabel 7 Uji T oli bekas 2 menit dan air 2 menit dapat di lihat untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,251 ,263) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji tarik dengan spesimen oli bekas 2 menit dan air 2 menit ada perbedaan nilai yang cukup signifikan.
Dari data statistik diatas, maka data tersebut dapat dibuat menjadi grafik hasil uji Tarik seperti dibawah ini



Gambar 1 Grafik Uji Tarik

Dilihat dari gambar 1 grafik uji Tarik, untuk rata-rata kekuatan Tarik media pedninginan air celup, air 2 menit dan oli celup perbedaannya tidak terlalu signifikan yaitu 108,0700, 109,0667 dan 107,5933 Kgf/mm^2. Untuk mengetahui lebih jelasnya, Tabel 4.4-4.7 uji T untuk 4 spesimen tersebut nilainya masih dibawah parameter 0.025 sehingga nilai kekuatan tarik spesimen tersebut ada perbedaan nilai.

Pada spesiment yang pendinginannya menggunakan media oli bekas 2 menit, hasil uji Tarik menunjukkan kekuatan Tariknya sebesar 113.03 Kgf/mm^2. Bisa jadi ini dipengaruhi oleh media pendinginnya yaitu oli bekas dan variable waktunya selama 2 menit. Oli merupakan media pendinginan yang sangat lambat. Oli juga memiliki nilai viskositas atau kekentalan yang tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat sehingga bisa memberikan peangaruh yang sangat tinggi terhadap kekuatan material pada pengelasan. Sebagai tambahan pendukung, pada jurnal Yassir maulana dengan judul Analisis Kekuatan Tarik Baja ST37 Pasca Pengelasan Dengan Variasi Media Pendingin Menggunakan SMAW nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu menggunakan media pendinginan oli bekas. Penggunaan oli bekas ini sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen tergantung pada besarnya viskositas (Yassyir Maulana, 2016).

Nilai kekuatan Tarik terendah yaitu sebesar 105.1567 Kgf/mm^2 dengan perlakuan pendinginan udara. Spesimen ini digunakan sebagai perbandingan media air dan oli bekas. Sehingga bisa kita simpulkan bahwa pemberian media pendingin setelah pengelasan mampu memperbaiki sifat kekuatan Tarik pada hasil pengelasan.

Tabel 3 Statistik Uji Tarik

		Air 2 menit	Air celup	Oli bekas celup	Oli bekas 2 menit	udara
	Valid	3	3	3	3	3
	Missing	0	0	0	0	0
Mean		109,0667	108,0700	107,5933	113,0300	105,1567
Sum		327,20	324,21	322,78	339,09	315,47

Tabel 4. Uji T Air Celup vs 2 menit

Group Statistics

	media	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
perlakuan	air celup	3	108,0700	4,46165	2,57593
	air 2 menit	3	109,0667	2,72177	1,57141

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
			ig.		f	ig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper
perlakuan	Equal variances assumed	1,124	,349	-,330		,758	-,99667	3,01741	-9,37435	7,38101
	Equal variances not assumed			-,330	3,308	,761	-,99667	3,01741	-10,11359	8,12026

Tabel 5 Uji T Air Celup vs Oli BekasCelup

Group Statistics

	media	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
perlakuan	oli bekas celup	3	107,5933	2,22289	1,28339
	air celup	3	108,0700	4,46165	2,57593

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.		f	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper
perlakuan	Equal variances assumed	1,931	,237	-,166		,876	-,47667	2,87794	-8,46710	7,51376
	Equal variances not assumed			-,166	2,935	,879	-,47667	2,87794	-9,75087	8,79753

Tabel 6 Uji T Air 2 menit vs Oli Bekas Celup

Group Statistics

	media	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
perlakuan	oli bekas celup	3	107,5933	2,22289	1,28339
	air 2 menit	3	109,0667	2,72177	1,57141

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
								95% Confidence Interval of the Difference	
			Sig.		df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
perlakuan	Equal variances assumed	,021	,892	-,726		,508	-1,47333	,02890	-7,10645	4,15979
	Equal variances not assumed			-,726	3,847	,509	-1,47333	2,02890	-7,19621	4,24955

Tabel 7 Uji T Oli 2 menit vs Air 2 menit

Group Statistics

	media	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
perlakuan	oli bekas 2 menit	3	113.0300	4.33152	2.50081
	air 2 menit	3	109.0667	2.72177	1.57141

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
									95% Confidence Interval of the Difference	
		F	ig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
perlakuan	Equal variances assumed	.767	431	.342	4	.251	3.96333	2.95354	\-4.23700	12.16367
	Equal variances not assumed			.342	3.366	.263	3.96333	2.95354	\-4.88314	12.80980

Tabel 8 Data Hasil Kekerasan

No	Variasi Pendinginan	Daerah Logam Induk (HRB)	Kekerasan Daerah Lasan (HRB)	Kekerasan Daerah HAZ (HRB)
1	Pendinginan Air Celup	45	70.5	56.5
2	Pendinginan Air 2 Menit	45.5	70.5	59
3	Pendinginan Udara	35	76	59
4	Pendinginan Oli Bekas Celup	44	84	57
5	Pendinginan Oli Bekas 2 Menit	35	84.5	58.5

2. Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan dari masing-masing specimen dan perbedaan perlakuan media pendingin serta variable waktu.

Dari tabel 8 diatas bisa kita lihat masing-masing nilai rata-rata pada setiap daerah, yaitu daerah Logam Induk, daerah las dan daerah *Heat Affected Zone* (HAZ). Setiap variasi pendinginan mempunyai nilai kekerasan tertinggi pada daerahnya masing-masing, ini tidak terlepas dari media pendinginannya serta variable waktu yang diterapkan. Di daerah logam induk nilai kekerasan tertinggi yaitu pada spesimen pendinginan air dengan waktu 2 menit. Bisa jadi ini dikarenakan factor proses serta media pendinginannya, pada proses pendinginannya, setelah dilakukan pengelasan, spesimen tersebut langsung di dinginkan dengan cepat atau bisa dikatakan paksa karena menggunakan media air.

Nilai kekerasan tertinggi pada daerah lasan yaitu specimen dengan menggunakan media pendinginan oli bekas dengan variabel waktu 2 menit. Proses pendinginan menggunakan media oli itu sangat lambat karena oli memiliki nilai viskositas lebih tinggi dibandingkan dengan air walaupun nilai viskositas tersebut sudah turun karena pembakaran mesin. Oli bekas juga memiliki kandungan yang agak sedikit berbeda dengan oli baru karena disana sudah terkontaminasi dengan berbagai hal semisal jelaga, bahan bakar serta air dan asam belerang.

Di daerah HAZ, nilai kekerasan tertinggi itu berada pada specimen pendinginan air 2 menit dan udara. Sebenarnya untuk nilai kekerasan di daerah HAZ tidaklah terpaut jauh antara spesimen satu dengan yang lainnya. Ini dikarenakan daerah HAZ merupakan daerah yang terpapar panas secara langsung pada saat pengelasan, jadi untuk pemberian media pendingin yang baik pada derah haz yaitu air dengan variabel 2 menit serta udara.

Tabel 9 Hasil Uji Kekerasan Area Logam Induk

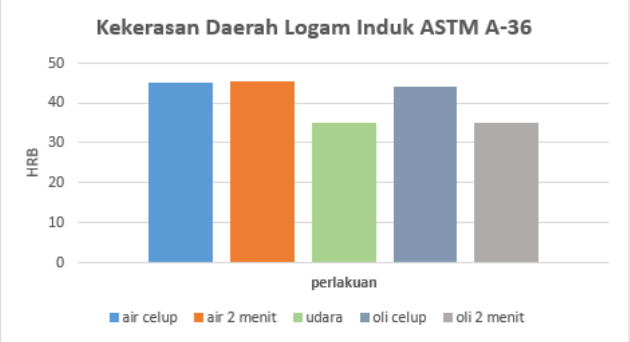
No	Variasi Pendinginan	Daerah Logam Induk
1	Pendinginan Air Celup	45
2	Pendinginan Air 2 Menit	45.5
3	Pendinginan Udara	35
4	Pendinginan Oli Bekas Celup	44
5	Pendinginan Oli Bekas 2 Menit	35

Kekerasan Daerah Logam Induk

Dengan cara yang sama, hasil pengujian statistik menggunakan Uji T untuk data kekerasan daerah logam induk menunjukkan bahwa Uji T air celup dan air 2 menit dapat untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,974 ,974) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji kekerasan daerah logam induk dengan spesimen Uji T air celup dan air 2 menit ada perbedaan nilai.

Uji T oli bekas celup dan air 2 menit untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,923 ,923) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji kekerasan daerah logam induk dengan spesimen oli bekas celup dan air 2 menit ada perbedaan nilai.

Uji T oli bekas celup dan air celup untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,950 ,950) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji kekerasan daerah logam induk dengan spesimen oli bekas celup dan air celup ada perbedaan nilai.



Gambar 2 Grafik data kekerasan logam induk

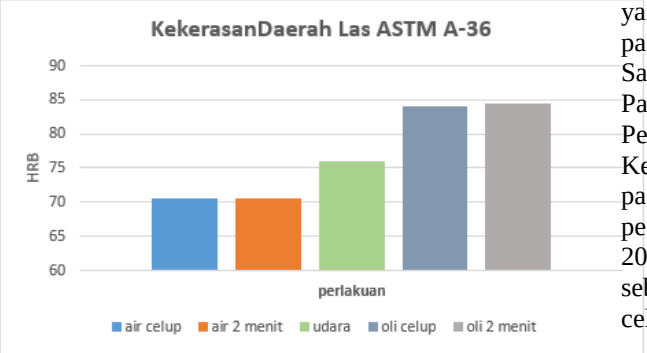
Nilai kekerasan tertinggi dari uji kekerasan di daerah logam induk yaitu pada spesimen yang menggunakan perlakuan pendinginan air dengan waktu 2 menit yaitu sebesar 45.5 HRB. Sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu sebesar 35 HRB pada perlakuan oli bekas 2 menit dan udara. Untuk mendapatkan nilai kekerasan yang baik pada daerah logam las maka pemberian media pendingin air sangatlah efektif karena mampu mendinginkan spesimen dengan cepat. Sedangkan jika pendinginannya menggunakan oli bekas dengan variabel waktu yang lama maka akan menghasilkan nilai kekerasan yang sama dengan pendinginan udara, ini dikarenakan oli memiliki nilai viskositas atau kekentalan yang sangat tinggi yang menyebabkan proses pendinginannya lambat seperti proses pendinginan udara.

Tabel 10 Data kekerasan daerah las

No	Variasi Pendinginan	Kekerasan Daerah Las (HRB)
1	Pendinginan Air Celup	70.5
2	Pendinginan Air 2 Menit	70.5
3	Pendinginan Udara	76
4	Pendinginan Oli Bekas Celup	84
5	Pendinginan Oli Bekas 2 Menit	84.5

Kekerasan Daerah Lasan

Uji T Oli bekas celup dan oli bekas 2 menit untuk nilai sig.(2-tailed) sebesar (,698 ,712) dan nilai tersebut dibawah parameter 0.025, jadi untuk nilai uji kekerasan daerah logam induk dengan spesimen oli bekas celup dan air celup ada perbedaan nilai.



Gambar 3 Grafik data kekerasan daerah lasan

Nilai kekerasan tertinggi dari uji kekerasan di daerah logam las yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan oli bekas dengan waktu 2 menit yaitu sebesar 84.5 HRB. Sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu sebesar 76 HRB pada perlakuan pendinginan udara. Sebagai perbandingan specimen udara yang memiliki nilai kekerasan 76 HRB maka untuk mendapatkan nilai kekerasan yang baik di daerah las yaitu menggunakan variabel media pendinginan oli bekas karena Oli merupakan media pendinginan yang sangat lambat. Oli juga memiliki nilai viskositas atau kekentalan yang tertinggi dibandingkan dengan media pendingin lainnya dan massa jenis yang rendah sehingga laju pendinginannya lambat. Sebagai tambahan pendukung pada jurnal Muhammad Sultanul Azdkar, Herman Pratikno dan Harmin Sulistiyaning Titah yang berjudul Analisis Pengelasan SMAW pada Baja ASTM A36 dengan Variasi Elektroda Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Biokorosi di Lingkungan Laut, nilai kekerasan tertinggi di miliki oleh daerah logam las atau *weld metal* dibandingkan dengan kekerasan daerah logam induk dan area HAZ (Azdkar, Pratikno, & Titah, 2019). Penggunaan Oli bekas ini sebagai media pendingin akan menyebabkan timbulnya selaput karbon pada spesimen tergantung pada besarnya viskositas yang menyebabkan nilai kekuatan Tarik juga akan meningkat, dan bisa di lihat pada gambar 4.16 Grafik uji tarik menunjukkan nilai kekuatan Tarik tertinggi yaitu pada media pendinginan oli bekas 2 menit.

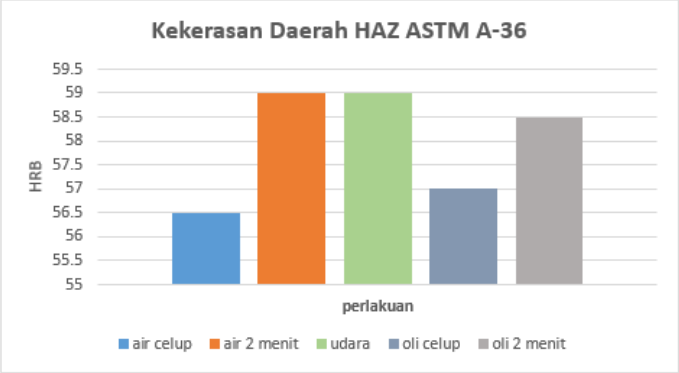
Untuk media pendinginan air nilai kekerasannya paling rendah, ini bisa dikarenakan memiliki masa jenis lebih tinggi dari oli dan proses pendinginannya sangat cepat sehingga sangat mempengaruhi nilai kekerasan didaerah logam las.

Kekerasan Daerah HAZ

Nilai kekerasan tertinggi dari uji kekerasan di daerah logam HAZ yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan air dengan waktu 2 dan udara menit yaitu sebesar 59 HRB. Sebagai data pendukung, pada jurnal Rachmadani, Suharno & Herman Saputro yang berjudul Pengaruh Media Pendingin Pada Pengelasan Baja S45c Menggunakan Metode Pengelasan *Gas Metal Arc Welding* Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro, nilai kekerasan pada daerah HAZ di miliki oleh media pendinginan air (Saputro, Mesin, & Keguruan, 2019). Sedangkan nilai kekerasan terendah yaitu sebesar 56.5 HRB pada perlakuan pendinginan air celup.

Tabel 11 Data kekerasan daerah HAZ

No	Variasi Pendinginan	Kekerasan Daerah HAZ (HRB)
1	Pendinginan Air Celup	56.5
2	Pendinginan Air 2 Menit	59
3	Pendinginan Udara	59
4	Pendinginan Oli Bekas Celup	57
5	Pendinginan Oli Bekas 2 Menit	58.5



Gambar 4 Grafik data kekerasan daerah HAZ

KESIMPULAN

Berdasarkan dari data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa kekuatan tarik tertinggi terjadi pada perlakuan dengan media pendingin oli bekas dengan variabel waktu 2 menit yaitu sebesar 113.03 Kgf/mm^2.

Dari hasil uji kekerasan yang telah dilakukan, diperoleh nilai kekerasan tertinggi pada setiap daerah specimen, yaitu :

a. Daerah logam induk yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan air dengan waktu 2 menit yaitu sebesar 45.5 HRB
b. Daerah logam las yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan oli bekas dengan waktu 2 menit yaitu sebesar 84.5 HRB.
c. Daerah logam haz yaitu pada specimen yang menggunakan perlakuan pendinginan air dengan waktu 2 dan udara yaitu sebesar 59 HRB.

DAFTAR PUSTAKA

Agung Firdausi Ahsan. (2016). Diagram Fasa Fe-Fe3C. Retrieved From Https://Www.Agungfirdausi.My.Id/2012/04/Diagram-Fasa-Fe-Fe3c.Html

Astra, I. M., & Si, M. (2015). Struktur Kristal, 1–51.

Dieter. (1987). *Metalurgi Mekanik*. (T. Sriati D, Ed.). Jakarta: Erlangga.

Harsono Wiryosumarto Dan Toshie Okumura. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam* (8th Ed.). Jakarta: PT. Pradya Paramita. Retrieved From Https://Www.Slideshare.Net /Tanalialayubi/ Teknologi-Pengelasan-Logam

Konstruksi Perangkat Las GTAW. (2010). Retrieved From Http://Schweissaufsicht. Ansa.Ch/Wig/Wig1.Htm

Las TIG (Tungsten Inert Gas Welding). (2013). Retrieved December 10, 2013, From Http://Www.Manulia.De/

Malau. (2003). *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan Logam* (V). Yogyakarta: UGM.

Materials, A. (2012). No Title. Retrieved June 5, 2019, From Https://Www.Azom.Com/ Article.Aspx?Articleid=6117

Mufarrih, H. I. Dan A. (2016). Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus, Media Pendingin, Dan Merk Elektroda Terhadap Kekuatan Tarik Dan Distorsi Sudut Sambungan Baja ST 37. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, *11*(1), 41–45.

Olibekass.Blogspot.Com. (2014). Oli Bekas. Retrieved September 12, 2018, From Http://Olibekass.Blogspot.Com/2014/12/Oli-Bekas.Html

Purwanto, I. A. (2017). Analisa Variasi Media Pendingin, Sudut, Merk Elektroda, Terhadap Kekuatan Sambungan Las Busur Listrik Pada Baja St 37. *Artikel Skripsi*, 1–10.

Sinta. (2012). Oli Bekas, 8–28.

Soedjono. (1994). Berkreasi Dengan Logam (4th Ed., P. 52). Bandung: Bandung Remaja Rosda Karya.

Soetardjo. (1997). *Petunjuk Praktek Las Asetilin Dan Las Listrik* (1st Ed.). Surabaya: Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan.

Sukamto. (2009). Pengaruh Media Pendingin Terhadap Hasil Pengelasan TIG Pada Baja Karbon Rendah. *Janateknika*, *11*(2), 126–137.

Suprayogi, A., & Tjahjanti, P. H. (2017). Analisa Surface Preparation Pada Plat Baja Astm A36, 188–197.

Suwito, A. J. Dan D. (2016). Kajian Pengelasan MIG Dan SMAW Dengan Varisi Pendingin (Air, Collent, Dan Es) Terhadap Kekuatan Tarik. *JTM*, *4*(2), 37–42.

Wiryosumarto, H. (2004). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: PT. Pradya Paramita.

Yassyir Maulana. (2016). Analisis Kekuatan Tarik Baja St37 Pasca Pengelasan Dengan Variasi Media Pendingin Menggunakan Smaw. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, *2*(1).

PETUNJUK PENULISAN NASKAH

Jurnal PROTON memuat hasil laporan penelitian di bidang teknologi dan rekayasa yang belum pernah diterbitkan maupun sedang dipertimbangkan penerbitannya di penerbitan lain.

- **Kriteria**.Naskah yang diajukan pada dasarnya akan dinilai oleh Penilai (Reviewer) yang ditetapkan oleh Dewan Redaksi. Kriteria penilaian meliputi orisinalitas, signifikansi dan tata tulis. Dewan Redaksi berwenang untuk menerima atau menolak naskah yang diajukan, maupun meminta penulis memperbaiki naskahnya.

- **Revisi**. Apabila naskah dikirimkan kembali ke penulis untuk diperbaiki, maka komentar/saran dari Penilai/Dewan Redaksi perlu ditampung dalam naskah yang direvisi. Walaupun demikian penulis dapat memberi bantahan atas komentar/saran.

- **Bahasa**. Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, konsisten di seluruh naskah.

- **Format**. Naskah disampaikan dalam bentuk file **MS Word versi dokumen 97-2003** dengan format 2 kolom (kecuali bagian judul hingga abstrak), spasi 1, pitch 10, font Times New Roman, di atas kertas A4 (210 x 297) dengan susunan (margin) :
  - ❖ Kiri : 3 cm
  - ❖ Kanan : 2,5 cm
  - ❖ Atas : 2,5 cm
  - ❖ Bawah : 2,5 cm

  Setiap halaman diberi nomor halaman.

- **Penulis**. Nama penulis ditulis lengkap (tanpa gelar / sebutan apapun) disertai nama instansi tempat penulis bekerja. Email hanya dicantumkan untuk penulis pertama / kontak personal.

- **Abstrak**. Ditulis dalam bahasa Indonesia, masing-masing tidak lebih dari 250 kata, serta secara singkat memberi gambaran aspek penting dan kesimpulan/ hasil pokok penelitian tersebut.

- **Daftar Referensi** disusun ke bawah menurut abjad nama akhir penulis pertama dengan contoh sebagai berikut :

  Kershenbaum, Aaron., (1993), *Telecommunication Network Design Algorithms*, Mc Graw-Hil International Editions, pp.50.

  Peacock V. H, Seed H. B, (1968), 'Sand Liquefaction Under Cyclic Loading Simple Shear Condition', *Journal of Soil Mechanics and Foundation Division*, Vol. 94, pp 689-708

- **Acuan.** Cara mengacu ke daftar acuan dilakukan dengan sistem nama dan tahun.
  Misal : ..... [Sahbana, 2008].

- **Tabel dan Gambar** diberi nomor secara berurutan sesuai dengan urutan pemunculannya. Setiap gambar dan tabel perlu diberi penjelasan singkat yang diletakkan :
  - ❖ di atas untuk tabel.
  - ❖ di bawah untuk gambar.

  Ukuran maksimal gambar tidak lebih dari 15 x 20 cm.
  Gambar berupa foto (kalau ada), disertakan dalam bentuk mengkilap (glossy)

- **Alamat Redaksi.** Naskah dikirim ke alamat :
  Redaksi Jurnal Ilmiah **PROTON**
  Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
  UNIVERSITAS WIDYAGAMA MALANG
  Jl. Taman Borobudur Indah No. 3 Malang 65128
  Telepon : 0341-492282 ext. 328 Faksimil : 0341-496919
  E-mail : mesin@widyagama.ac.id, nfinahari@widyagama.ac.id
  Web : http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/proton

  Surat-menyurat lain mengenai naskah dikirim dengan menyebut judul lengkap, nama pengarang, dan tanggal pengiriman ke alamat di atas.

ISSN 2086-2962