

Pengaruh Parameter Faktor Stir Casting pada Porositas KOMposit Al-SiC

Sadi¹, Viktor Malau², M Waziz Wildan³, Suyitno⁴

Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gajah Mada
Jl. Grafika no 2, 5528 Yogyakarta, Indonesia

¹⁾ sadi.sadi1971@yahoo.co.id, ²⁾ malau@ugm.ac.id

³⁾ m_waziz@ugm.ac.id, ⁴⁾ suyitno@ugm.ac.id

ABSTRAK

This research aims to analyze the effect of stir casting factor parameters on Al-SiC composite porosity using Taguchi method. Composite materials used aluminum alloy Al-Si as matrix and SiC particle (silicon carbide) sized -400 mesh as reinforcement. Al-SiC composites specimen porosity was tested using Archimedes principles. Experimental design using L16 orthogonal arrays Taguchi method standard. Factors used for the experiment were SiC content, melt temperature, rotation speed and stirring time duration, each using 4 variation. Experimental results showed that increasing SiC content parameters and stirring rotation speed from 100 into 300 rpm can increase Al-SiC composite porosity, but increasing melt temperature above 700 C and stirring time from 10-30 minutes can decrease the porosity. The most significant factor affecting Al-SiC composite porosity was SiC content with 84,7 % contribution. Microstructures of Al-SiC casting composites were observed using scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: Al-SiC composites, porosity, stir casting, experimental design, taguchi method

PENDAHULUAN

Metal matrix composites (MMC) adalah material teknik yang dibentuk menggunakan dua material atau lebih untuk memperoleh material baru yang mempunyai sifat fisis dan mekanis yang lebih baik dibanding material pembentuknya. Matrik yang digunakan biasanya menggunakan logam lunak seperti aluminium, sedangkan sebagai penguat biasanya menggunakan material keramik seperti *silicone carbide* (SiC). Keunggulan material MMC dibanding komposit polimer adalah kekerasannya tinggi, tahan aus, tahan pada temperatur tinggi dan ekspansi termalnya rendah. Aplikasi MMC pada industri otomotif adalah digunakan untuk *cylinder liners* mesin, *intake valve*, *exhaust valve*, *connecting rod*, *brake rotors*, *piston*, dan lain-lain [1, 2].

Pada penelitian ini, MMC Al-SiC diproduksi dengan proses *stir casting*, yaitu proses pencairan dan pengadukan (*stiring*) di dalam *furnace*, dilanjutkan proses penuangan ke dalam cetakan logam dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Proses ini lebih murah dibanding proses pembuatan MMC Al-SiC lainnya dan dapat digunakan untuk membuat komponen dalam bentuk yang kompleks [1, 3]. Pengadukan dalam kondisi *semi-solid* dapat mematahkan struktur *dendrite* aluminium ketika membeku menjadi sebuah bentuk struktur *equiaxed* kecil atau *chill-type*. Kondisi partikel keramik dengan ukuran butiran yang kecil dipasangkan dengan struktur aluminium yang kecil dapat menguatkan komposit Al-SiC [4]. Pengadukan juga dapat meningkatkan distribusi partikel SiC pada matrik aluminium [5]. Distribusi partikel SiC yang kurang merata pada matrik menyebabkan sifat-sifat mekanis MMC Al-SiC kurang baik dibanding yang distribusinya merata. Untuk memperoleh distribusi merata, kecepatan putar pengadukan optimum pada pembuatan komposit Al7075/SiC (10 % berat) adalah 650 rpm, tetapi di atasnya dapat menyebabkan terjadinya porositas [6].

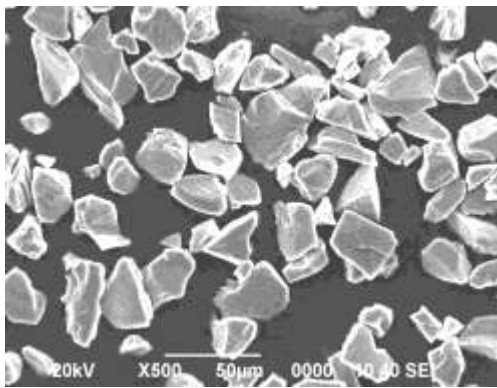
Porositas merupakan cacat berbentuk rongga-rongga halus yang terbentuk oleh gas yang terjebak selama proses pencampuran dengan pengadukan dan penyusutan (*shrinkage*) selama pembekuan. Porositas juga terbentuk oleh reaksi *interfacial* karena oksigen dan hidrogen menyebabkan munculnya uap air pada permukaan partikel penguat SiC [7,8]. Ukuran partikel penguat SiC semakin besar menjadikan porositas komposit Al-SiC juga semakin besar [9].

Kebaruan penelitian ini terletak pada banyaknya faktor dan variasi parameter faktor yang digunakan untuk menentukan desain eksperimen pada proses *stir casting* komposit Al-SiC menurut standar metode Taguchi.

METODOLOGI PEMODELAN

2.1 Material

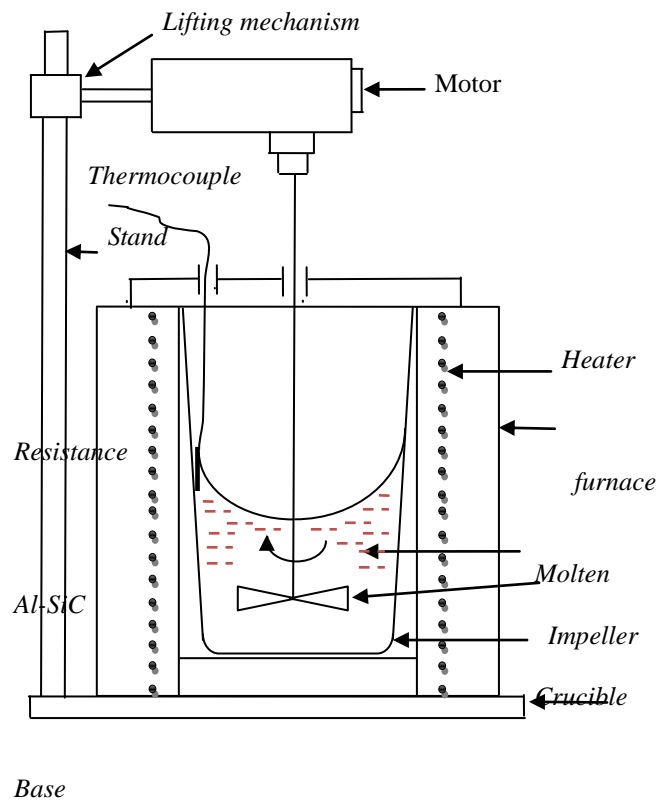
Pada penelitian ini, ingot aluminium paduan Al-Si dipotong-potong menjadi sekrap. Sekrap aluminium paduan Al-Si ini digunakan sebagai bahan matrik komposit dan partikel SiC dengan ukuran butiran -400 mesh (32 μm) digunakan sebagai bahan penguat (*reinforcement*). Bentuk atau morfologi partikel SiC yang digunakan dianalisis menggunakan *scanning electron microscope* (SEM), hasilnya ditunjukkan pada Gambar 1. Komposisi kimia partikel SiC dalam persen massa (mass %) yang digunakan pada penelitian ini dianalisis secara kuantitatif menggunakan *Energy dispersive spectroscope* (EDS), hasilnya 21,87 % C dan 78,13 % Si. Partikel SiC dipasok oleh Sigma Aldrich, Co. USA dan ingot aluminium paduan Al-Si dipasok oleh Pinjaya Logam, Indonesia. Komposisi kimia ingot aluminium paduan Al-Si dalam persen massa (mass %) sebagai berikut: 10.516 Si, 1.715 Cu, 0.78 Fe, 0.83 Zn, 0.239 Mg, 0.15 Mn dan *balance* Al.



Gambar 1. Hasil uji SEM bentuk partikel SiC

2.2 Proses Stir Casting Komposit Al-SiC.

Sekrap aluminium paduan Al-Si dicairkan di dalam *graphite crucible* pada *resistance furnace* sampai di atas titik cairnya yaitu di atas temperatur 680 °C. Tujuannya supaya sekrap aluminium paduan Al-Si sudah mencair sempurna sebelum dicampur partikel SiC. Sekrap aluminium paduan Al-Si dipanaskan mula pada temperatur 500 °C selama ± 3 jam sebelum mencair. Pada saat yang sama partikel SiC juga dipanaskan mula pada temperatur 500 °C selama ± 2 jam sebelum dicampur pada cairan aluminium paduan Al-Si supaya tidak terjadi oksidasi. Aluminium paduan Al-Si yang telah mencair sempurna kemudian ditambahkan partikel SiC secara pelan-pelan dan terus-menerus ke dalam cairan aluminium dan diaduk secara manual, sambil temperturnya diturunkan mencapai ± 580 °C supaya cairan menjadi *slurry* dan dijaga dalam kondisi tersebut. Pada kondisi *slurry*, cairan diaduk dengan motor pada kecepatan 600 rpm selama 20 menit dan dibantu secara manual karena pencampurannya sangat sulit. Setelah partikel SiC mencampur dengan baik pada cairan aluminium, kemudian temperturnya dinaikkan kembali sampai dalam kondisi cair sempurna sesuai parameter proses yang telah ditentukan pada desain eksperimen Taguchi seperti pada Tabel 2 dan dialiri gas argon untuk mendorong oksigen keluar dari ruang *crucible*. Parameter faktor yang digunakan dalam eksperimen ini yaitu kandungan SiC (0, 5, 10, 15 % berat), temperatur cairan (680, 700, 720 dan 740 °C), kecepatan pengadukan (100, 200, 300 dan 400 rpm) dan lamanya waktu pengadukan (10, 20, 30 dan 40 menit). Cairan komposit Al-SiC selanjutnya dituang ke dalam cetakan baja yang sebelumnya dipanaskan mula pada temperatur 200 °C selama ± 2 jam. Diagram skema proses *stir casting* komposit Al-SiC ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram skema proses *stir casting* komposit.

1.3. Uji Porositas Komposit Al-SiC

Porositas komposit Al-SiC diuji dengan cara mengukur massa jenis spesimen yaitu mengukur volume spesimen mengikuti prinsip Archimedes, dimana perbedaan antara berat spesimen di udara w_{udara} dan berat spesimen di dalam fluida w_{fluida} , dibagi dengan massa jenis fluida ρ_{fluida} , akan diperoleh volume cairan yang dipindahkan, yang identik dengan volume spesimen. Massa jenis spesimen ditentukan dengan Persamaan 1 [10].

$$\rho = \frac{(w_{udara})}{[(w_{udara} - w_{fluida}) / \rho_{fluida}]} \quad (1)$$

$$\rho = (w_{udara} \times \rho_{fluida}) / (w_{udara} - w_{fluida})$$

dengan : ρ = massa jenis spesimen (g/cm^3)
 ρ_{fluida} = massa jenis fluida ($\rho_{air} = 1 \text{ g/cm}^3$)
 w_{udara} = berat spesimen di udara (g)
 w_{fluida} = berat spesimen di dalam fluida (g)

Persentase porositas tiap spesimen dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 [11].

$$\text{Porositas (\%)} = [1 - (\rho_s / \rho_0)] \times 100 \quad (2)$$

dengan: ρ_s = ρ = massa jenis spesimen coran yang diukur (g/cm^3)

ρ_0 = massa jenis spesimen coran tanpa porositas atau massa jenis teoritis paduan (g/cm^3).

Massa jenis teoritis komposit Al-SiC tanpa porositas menurut, dihitung menggunakan Persamaan 3 [3].

$$\rho_c \text{ teori} = \rho_r V_r + \rho_m V_m \quad (3)$$

dimana : $\rho_c \text{ teori}$ = massa jenis komposit teoritis (gr/cm^3)
 ρ_r = massa jenis penguat ($\rho_{SiC} = 3,2 \text{ gr/cm}^3$)
 ρ_m = massa jenis matrik ($\rho_{Al} = 2,7 \text{ gr/cm}^3$)
 V_m = fraksi volume matrik.

V_r = fraksi volume penguat.

2.4 Pengamatan Strukturmikro.

Pada penelitian ini, pengamatan strukturmikro dilakukan dengan cara memoles permukaan spesimen sampai halus. Pemolesan dilakukan menggunakan kertas ampelas ukuran 400, 600, 800, 1000, 1200 dan 1500 grit. Setelah diampelas, spesimen digosok dengan kain halus dan autosol sampai diperoleh permukaan yang halus dan tanpa goresan. Spesimen yang telah halus kemudian dietsa dengan cara mencelupkan ke dalam alkohol 95 %. Setelah dietsa, spesimen coran komposit Al-SiC diamati strukturmikronya menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengamati distribusi butiran partikel SiC pada matrix. Uji SEM juga dilakukan untuk mengamati permukaan aus bekas goresan piringan penguas pada spesimen komposit Al-SiC.

2.5 Desain Eksperimen Taguchi

Desain eksperimen pada penelitian ini menggunakan desain eksperimen Taguchi. Faktor eksperimen yang digunakan sebanyak 4 dengan masing-masing 4 variasi, maka derajat bebas total eksperimen adalah 12. Berdasarkan jumlah faktor yang dikendalikan, jumlah variasi dan jumlah derajat bebas maka standar desain eksperimen menurut metode Taguchi adalah L_{16} orthogonal array, artinya jumlah percobaan dengan perlakuan berbeda harus dilakukan minimal 16 kali ditunjukkan pada Tabel 1. Faktor eksperimen dan variasi yang digunakan untuk eksperimen disimbolkan dengan huruf X_i , dimana X adalah faktor eksperimen dan i adalah urutan faktor eksperimen ke i, ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Desain L_{16} orthogonal array standar Taguchi

Eksperimen.	Faktor eksperimen dan variasi parameternya			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	1	4	4	4
5	2	1	2	3
6	2	2	1	4
7	2	3	4	1
8	2	4	3	2
9	3	1	3	4
10	3	2	4	3
11	3	3	1	2
12	3	4	2	1
13	4	1	4	2
14	4	2	3	1
15	4	3	2	4
16	4	4	1	3

Tabel 2. Faktor eksperimen dan variasi parameternya

Simbol Faktor eksperimen	Variasi & parameter			
	1	2	3	4
X_1 : Kandungan SiC (% berat)	0	5	10	15
X_2 : Temperatur cairan ($^{\circ}$ C)	680	700	720	740
X_3 : Kecepatan putar (rpm)	100	200	300	400

X_4 : Waktu pengadukan (menit)	10	20	30	40
----------------------------------	----	----	----	----

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh porositas minimum, maka berdasarkan metode Taguchi nilai *signal to noise ratios* (S/N ratio) diperoleh menggunakan karakteristik respon *smaller is better*. Untuk memperoleh S/N ratio, data hasil uji porositas tiap eksperimen dikonversi menggunakan Persamaan 4 [12].

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log_{10} [\sigma^2 + Y^2] \quad (4)$$

dimana maksud simbol S/N ratio, σ dan Y secara berurutan adalah *signal to noise ratio* (*decible*, dB), standar deviasi dan nilai rata-rata sampel uji porositas (%).

HASIL DAN PEMBAHASAN

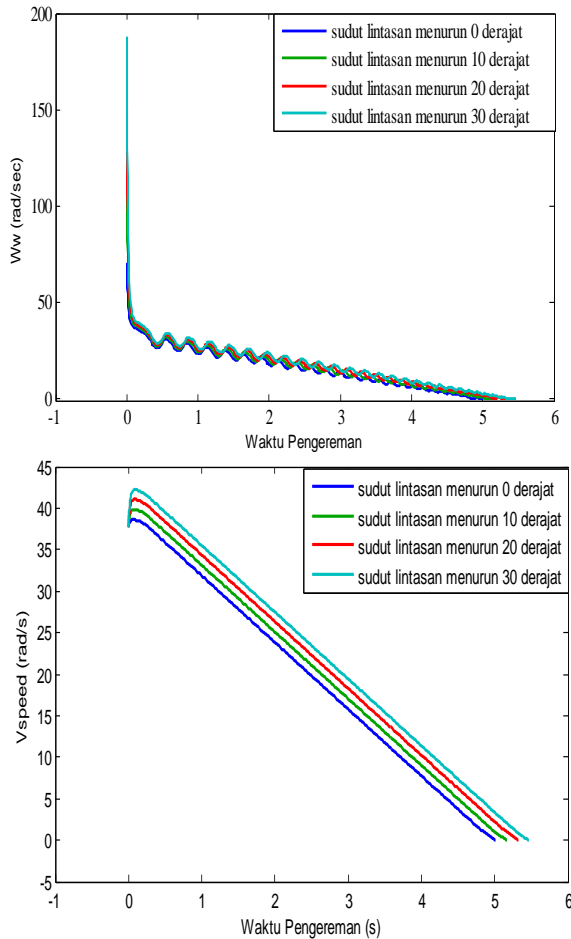
Kecepatan Angular Roda dan Kecepatan Angular Kendaraan

Kecepatan angular roda kendaraan tanpa adanya lintasan menurun menghasilkan 70.4 rad/s (tabel 2). Ketika mengalami jalan menurun dengan asumsi sudut lintasan 10° , 20° , 30° kecepatan angular roda mengalami kenaikan sebesar 41.46rad/sec, 80.4rad/sec, 117.6rad/sec (gambar 7).

Kecepatan angular kendaraan ialah besarnya kecepatan linier dibagi dengan diameter luar roda. Kecepatan angular kendaraan bermula di 37.66rad/sec (tabel 3) karena dilakukan pengereman di lintasan menurun 0° mengalami kenaikan sebesar 0.96rad/sec, pada saat 0.0681s. Sudut turunan 10° mengalami kenaikan sebesar 2.19rad/s di saat 0.088s. Sudut turunan 20° mengalami kenaikan sebesar 3.4 rad/s di saat 0.078s dan untuk lintasan 30° mengalami kenaikan sebesar 4.54rad/s di saat 0.088s (gambar 7).

Angka slip Roda

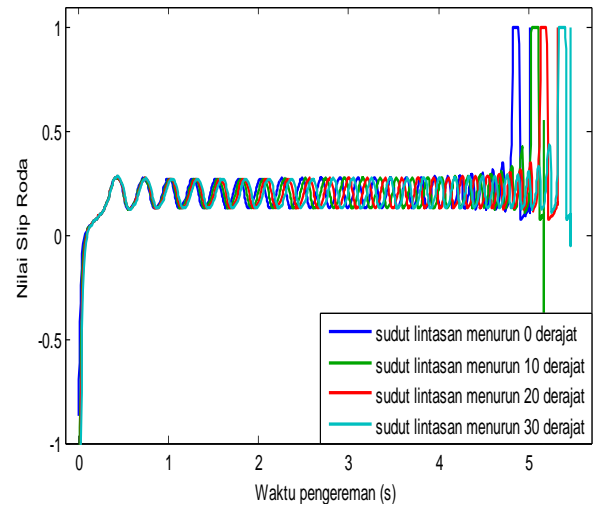
Angka slip roda kendaraan adalah perbandingan dari kecepatan angular roda dengan kecepatan linier kendaraan (pers 4). Nilai slip dengan sudut lintasan menurun 10° , 20° , 30° memiliki kesamaan yaitu 0.27 selama 3.8651s. Waktu akhir pengereman untuk lintasan menurun 20° , 30° berakhir dengan angka slip sedangkan untuk jalan menurun 10° berakhir di angka slip 0.553 (tabel 4) yang berarti kondisi kontak antara roda dan jalan masih bagus (gambar 9).



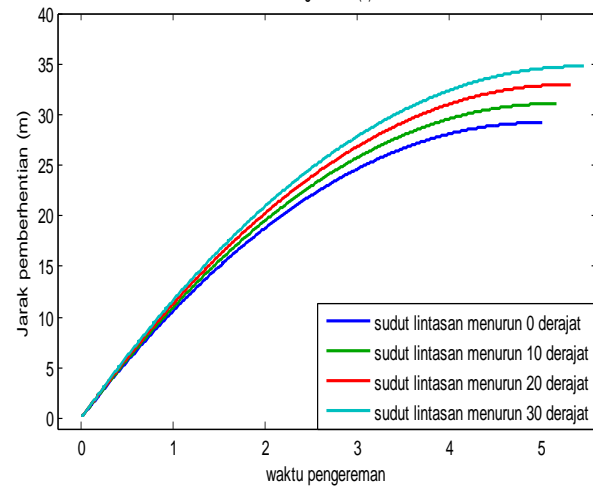
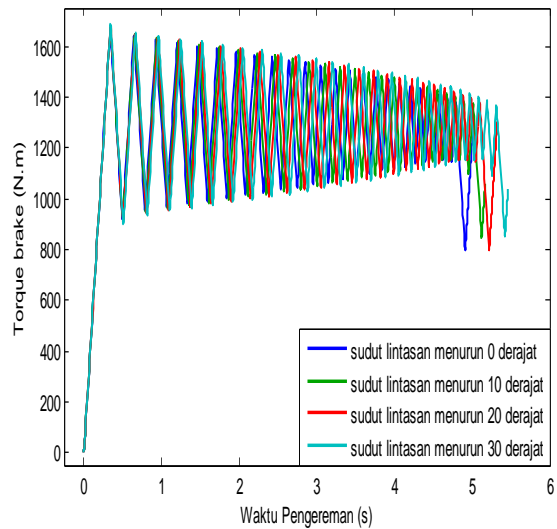
Gambar 7. Grafik kecepatan angular roda dan angular kendaraan

Torsi Pengereman dan Jarak Pemberhentian

Torsi Pengereman dari nilai maximum mengalami fluktuatif yang dikarenakan gerak maju mundur dari katup pengatur tekanan ABS (gambar 9). Pertambahan besar sudut turunan berefek pada respon dari torsi maksimum sebesar 0.014s, 0.027s, 0.014s. Torsi pengereman maksimum juga mengalami kenaikan sebesar 7N.m, 14N.m, 20N.m (tabel 5). Akan tetapi dengan bertambahnya sudut pemvariasian 10^0 torsi pengereman pada saat berhenti mengalami penurunan yaitu sebesar 237N.m, untuk sudut menurun 20^0 mengalami kenaikan 10N.m, dan untuk sudut menurun 30^0 mengalami penurunan sebesar 256N.m (gambar 9) hal ini disebabkan pada waktu kendaraan berhenti posisi piston di kaliper tidak selalu berada di titik mati atas atau di titik mati bawah. Di lintasan datar jarak pemberhentiaan kendaraan setiap detik dengan kecepatan awal 40 km/jam sejauh 5.82m, untuk lintasan menurun bersudut 10^0 , 20^0 , 30^0 sejauh 6.03m, 6.18m, 6.363m (tabel 6).



Gambar 8. Grafik angka slip roda

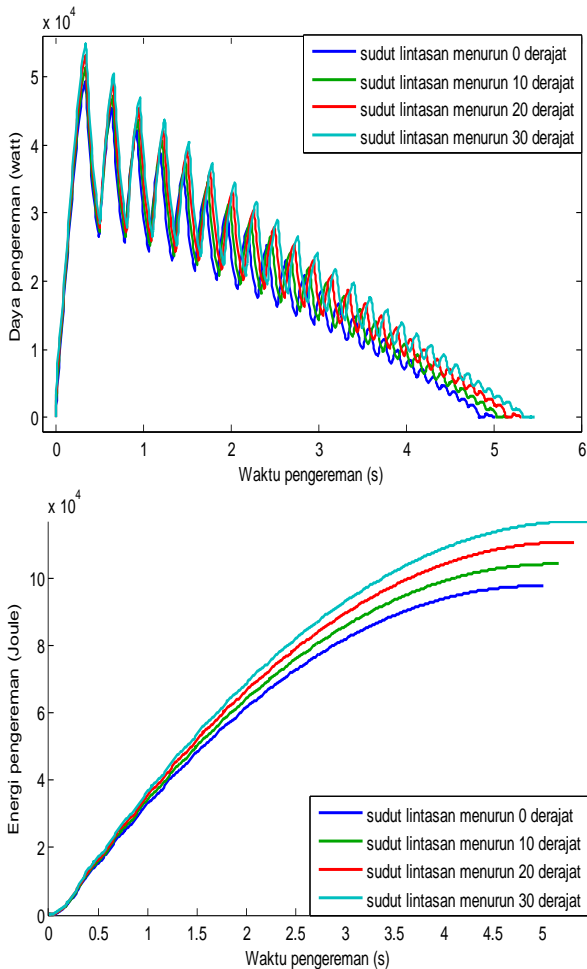


Gambar 9. Grafik torsi dan jarak pengereman

Hasil pemodelan memiliki selisih dari rata-rata jarak pengereman dari penelitian terdahulu sebesar 1.1375m. Jarak pemberhentian dari penelitian sebelumnya dengan kecepatan kendaraan 40km/jam (11.11m/s) (tabel 7).

Daya dan Energi Pengereman

Daya pengereman maksimum untuk lintasan menurun bersudut 10^0 , 20^0 , 30^0 mengalami kenaikan sebesar 1.88 kW, 3.71kW, 5.44 kW (tabel 8). Dengan pemvariasian sudut lintasan di jalan menurun ternyata sangat mempengaruhi energi pengereman (gambar 13), hasil simulasi energi pengereman maksimum sesuai pemvariasian sudut lintasan menurun 10^0 , 20^0 , 30^0 mengalami kenaikan sebesar 6.56kJ, 13.06kJ, 19.46kJ (tabel 9). Sedangkan jumlah energi adalah luasan dari grafik yang dibentuk selama proses pengereman yaitu sebesar 24.493kJ, 49.999kJ, 75.007kJ.



Gambar 13. Grafik daya dan energi pengereman

Tabel 2. Kecepatan angular roda

No	Sudut lintasan(derajat)	Kecepatan Roda(Rad/s)	Angular	waktu
1	0	70.4	0	
2	0	0		5.014
3	10	112	0	
4	10	0		5.169
5	20	150.8	0	
6	20	0		5.325
7	30	188	0	
8	30	0		5.464

Tabel 3. Kecepatan angular kendaraan

No	Sudut lintasan(derajat)	Kecepatan Angular Kendaraan (Rad/s)	waktu
1	0	37.66	0
2	0	38.62(max)	0.0681
3	10	37.66	0
4	10	39.85(max)	0.088
5	20	37.66	0
6	20	41.06(max)	0.078
7	30	37.66	0
8	30	42.2(max)	0.088

Tabel 4. Angka slip roda

No	Sudut lintasan(derajat)	AngkaSlip Roda	Waktu kesetabilan
1	0	0.27	0.2429-4.108
2	0	1	5.014
3	10	0.27	0.2429-4.108
4	10	0.553	5.169
5	20	0.27	0.2429-4.108
6	20	1	5.325
7	30	0.27	0.2429-4.108
8	30	1	5.464

Tabel 5. Torsi pengereman

No	Sudut lintasan(derajat)	Torsi Pengereman(N.m)	waktu
1	0 max	1663	0.3425
2	0 akhir	1295	5.014
3	10 max	1670	0.3439
4	10	1058	5.169
5	20 max	1677	0.3452
6	20	1305	5.325
7	30 max	1683	0.3439
8	30	1039	5.464

Tabel 6. Jarak pemberhentian

No	Sudut lintasan(derajat)	Jarak pemberhentian(m)	Waktu (s)
1	0	29.2	5.014
2	10	31.08	5.151
3	20	32.96	5.325
4	30	34.77	5.464

Tabel 7. Jarak pemberhentian dari penelitian dahulu

No	Sumber	Jarak pemberhentian (m)
1	Road and Rolls(2011)	37
2	Australia auburn and blacktown (2011)	26
3	Wheel megazine (2009)	26.35
4	Wenjuan li dkk(2008)	32
	Rata-rata	30.3375

Tabel 8. Daya pengereman

No	Sudut Lintasan (derajat)	Daya Pengereman (kW)	waktu
----	--------------------------	----------------------	-------

1	0	49.32(max)	0.3406
2	10	51.2(max)	0.342
3	20	53.03 (max)	0.3434
4	30	54.76(max)	0.3446

Tabel 9. Energi pengereman

No	Sudut lintasan(derajat)	Energi Pengerman (kJ)	waktu
1	0	97.84(max)	5.014
2	0	245.309(Total energi)	0-5.014
3	10	104.4 (max)	5.151
4	10	269.802(Total energi)	0-5.151
5	20	110.9(max)	5.325
6	20	295.308(Total energi)	0-5.325
7	30	117.3(max)	5.464
8	30	320.316(Total energi)	0-5.464

KESIMPULAN

Pada pemodelan pengereman kendaraan yang menggunakan ABS di lintasan jalan menurun dengan variasi sudut 10^0 , 20^0 , 30^0 dengan asumsi kecepatan mula kendaraan sebesar 40km/jam, dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi menunjukkan jarak pemberhentian adalah 31.08m, 32.96m, 34.77m dengan waktu berhenti selama 5.169s, 5.325s, 5.464s secara berurutan sesuai urutan variasi sudut, selain itu daya yang dibutuhkan untuk proses pengereman adalah 1.88kW, 3.71kW, 5.44kW. Sedangkan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman sebesar 24.493kJ, 49.999kJ, 75.007kJ. Hasil perhitungan energi yang dibutuhkan selama proses pengereman ini bisa dijadikan acuan dalam perencanaan sistem rem regeneratif, yaitu pemanfaatan energi yang terbuang selama proses pengereman dengan asumsi kendaraan mula-mula bergerak dengan kecepatan 40 km/Jam, khususnya pada kondisi jalan menurun.

Nomenklatur

a	percepatan (m/s^2)
g	percepatan gravitasi (m/s^2)
Va	kecepatan linier akhir (m/s)
Vo	kecepatan linier awal (m/s)
t	waktu (s)
S	jarak (m)
m	massa (kg)
w	gaya berat ($kg.m/s^2$)
μ	koefisien gesek
F	gaya (N)
λ	nilai slip
τ, T, TB	torsi (N.m)
ω	kecepatan angular (rad/sec)
PB	tekanan (Pa)
A	luas (m^2)
r, R _r	jari-jari (m)
W	usaha (joule)
P	daya (watt)
I	inersia ($kg.m^2$)
c	konstanta redaman (N.s/m)
k	konstanta pegas (N/m)

Subscript

max = maximum

Referensi

- [1]Bhandari Rishabh, Patil Shangram & Singh Ramesh K., Surface prediction and control algorithms for anti-lock brake system. Journal,Transportation Research Part C 21 181-195 (2012)
- [2]Mingxing M.A., Jichuan H., Ghoumin Xu. &Yancahi G., Experimental Investigation on Pressure Gradient of Automotive Hydraulic Anti-lock Braking Systems. Journal, Vol.2 No.3 Automotive Safety and Energy 198-205 (2011)
- [3]Nyandoro O.T., Pedro J.O., Dahunsi O.A & Dwolatzky B., Linear Slip Control Formulation for Vehicular Anti-Lock Braking System withSuspension Effects. Journal, IFAC World Congress Milano (Italy) 4778-4784 (2011)
- [4]Bera T.K.,Bhattacharya K., & Samantaray A.K., Evaluation of antilock braking system with an integrated model of full vehicle system dynamics. Journal, Simulation Modelling Practice and Theory 19 2131–2150(2011)
- [5]Mitunevicius V. & Imelinskas R., Research Of Braking Of Car With Anti-Lock Brake System. Journal, Vilnius Gediminas Technical University Transport Engineering Faculty, J. Basanavičius g. 28, LT-03224, Vilnius, Lithuania 120-125 (2011)
- [6]Guo J., Wang J & Cao B.,Study on Braking Force Distribution of Electric Vehicles. Journal, IEEE978-1-4244-2487 (2009)
- [7]Li Wenjuan, Wang Xudong, Leng Xue & Wang Meng., Modeling and Simulation of Automobile Braking System Based on Kinetic Energy Conversion. Journal, IEEE 978-1-4244-1849 (2008)
- [8]Valiunas Valdas & Vestartas Aurelijus, The Impact of Anti-Lock Braking System on Braking Distance of The Vehicle. Journal,Transport and Telecommunication Vol.6, N 2, 283-286 (2005)