

Analisis Penurunan Daya Pada Sistem Propulsi Lokomotif Transmisi Diesel Elektrik CC 203 Di Depo Lokomotif

Denasti Fajar Sidi¹; M.Reza Hidayat²; Christiono³

^{1, 2} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia.

³ Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jakarta, Indonesia.

¹ denastifajar@rocketmail.com

² mreza@lecture.unjani.ac.id

ABSTRACT

Research was carried out on the CC203 locomotive propulsion system in order to obtain the value of the power reduction in one case of disturbance by comparing the output value against the set standard value. Using mathematical calculation methods from the applicable equations and processing the data. From the results of the study, the cause of the decrease in locomotive power is due to a decrease in the excitation value so that it affects the output value of the Main Generator at each Notch and has an impact on the motor traction power supply also decreases. The Main Generator can only issue a maximum Horse Power at Notch 8 of 1389.96 HP from 1985.31 HP with a decrease of 595 HP. The electric motion of the generator exciter has the largest decrease at Notch 7 of 6.02 volts from 30.48 volts to 24.46 volts. Motor traction can only output a maximum terminal power of 985.067 Watt from 1407 KWatt. The maximum electromagnetic torque of the Notch 8 motor traction is 2855.48 N.m in the series transition and 3070.21 N.m in the parallel transition. Losses on a series transition of 36886 Watts and a parallel transition of 9122 Watts.

Keywords: Power, Electromotive Force, Locomotive, Propulsion System

ABSTRAK

Penelitian dilakukan dengan analisis pada sistem propulsi lokomotif CC203 sehingga didapat nilai penurunan daya pada satu kasus gangguan dengan cara membandingkan nilai output terhadap nilai standar yang ditetapkan. Menggunakan metode perhitungan matematis dari persamaan yang berlaku dan mengolah data tersebut pada MS.Excell. Dari hasil penelitian, penyebab penurunan daya lokomotif dikarenakan faktor penurunan nilai Eksitasi sehingga mempengaruhi nilai output dari Main Generator di setiap Notch nya dan berdampak pada suplai daya traksi motor juga menurun. Main Generator hanya dapat mengeluarkan HorsePower maksimal pada Notch 8 sebesar 1389,96 HP dari 1985,31 HP dengan penurunan sebesar 595 HP. Gaya Gerak Lisrik Exciter Generator mengalami penurunan terbesar pada Notch 7 sebesar 6,02 Volt dari 30,48 Volt menjadi 24,46 Volt. Traksi motor hanya dapat mengeluarkan daya terminal maksimal sebesar 985,067Watt dari 1407 KWatt. Torsi Elektromagnetik traksi motor maksimal Notch 8 sebesar 2855,48 N.m pada transisi seri dan 3070,21 N.m pada transisi paralel. Losses pada transisi seri sebesar 36886Watt dan transisi paralel sebesar 9122 Watt.

Kata kunci: Daya, Gaya Gerak Listrik, Lokomotif, Sistem Propulsi

1. PENDAHULUAN

Depo Lokomotif merupakan Unit Sarana PT.Kereta Api Indonesia yang bertanggung jawab terhadap kehandalan lokomotifnya dalam menjalankan bisnis transportasi kereta api. Pada dasarnya setiap pekerjaan teknis di Depo Lokomotif telah dilaksanakan sesuai prosedur, namun pada kenyataannya masih terdapat gangguan yang berdampak pada keterlambatan operasional perkeretaapian. Menurut data laporan bulanan Depo Lokomotif yang direkap dari bulan Februari 2019 sampai dengan bulan Februari 2020 terdapat 6 (enam) kasus gangguan tenaga lemah lokomotif berupa penurunan daya yang mengakibatkan andil keterlambatan perjalanan kereta yang cukup signifikan [1].

Dari kejadian tersebut menunjukkan bahwa andil keterlambatan perjalanan kereta yang disebabkan oleh penurunan daya pada saat operasional mempunyai dampak yang sangat signifikan. Terkait permasalahan diatas, terdapat beberapa jurnal atau paper yang berkaitan baik secara khusus pada suatu lokomotif maupun secara umum pada komponen penunjang sistem propulsii sebagai berikut : Jurnal yang pertama tentang efektivitas dan efisiensi sistem propulsii pada Kereta Rel Listrik bahwa sistem motor traksi VVVF (*Variable Voltage Variable Frequency*) lebih efisien dibanding sistem Rheostatic dan DC-Chopper [2]. Jurnal yang ke dua mengenai penelitian tentang rancangan teknologi sistem propulsii untuk kereta semi-cepat Jakarta-Surabaya dengan sistem *Diesel Electric Multiple Unit* sebagai pilihan yang paling memungkinkan [3]. Penelitian ke tiga tentang simulasi solusi alternatif untuk meningkatkan efisiensi daya pada kereta diesel-elektrik yang dapat menghemat bahan bakar sebesar 10% dengan sistem *Store The Energy Of The Diesel Dynamic Braking And Reduce The Diesel Motor Size* [4]. Jurnal ke empat tentang perubahan output tegangan terminal generator dc berdasarkan perubahan nilai arus penguat medan dan putaran generator [5]. Jurnal ke lima penelitian tentang baik Generator maupun Motor DC memiliki karakteristik khas masing-masing yang harus diperhatikan untuk penerapannya dalam keperluan industri atau keperluan lain [6].

Berdasarkan permasalahan diatas mengenai gangguan tenaga lemah atau penurunan daya lokomotif yang dapat menyebabkan keterlambatan jadwal operasional kereta api dan menyangkut nama baik serta citra perusahaan, maka diperlukan penelitian mengenai daya pada sistem propulsii lokomotif untuk dapat mengidentifikasi sumber penyebab terjadinya gangguan. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk penelitian-penelitian selanjutnya dan juga pengembangan secara teknis perusahaan kedepannya dalam mengantisipasi gangguan serupa sehingga andil keterlambatan kereta api semakin kecil.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

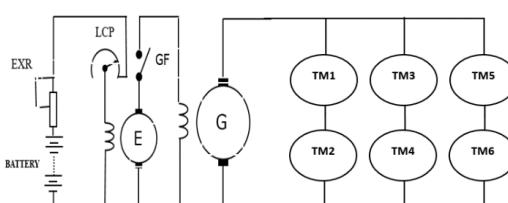
2.1. Metode Penelitian

Metode penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah berupa kasus gangguan operasional kereta berupa penurunan daya pada sistem propulsii lokomotif. Langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur untuk menentukan landasan teori dan referensi yang akan digunakan sebagai penunjang penelitian yang dilakukan. Setelah itu adalah pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder. Selanjutnya adalah proses pengolahan dan analisis data sehingga didapat hasil nilai dari penurunan daya yang terjadi dan sumber penyebabnya.

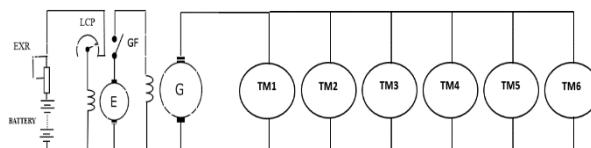
2.2. Pengumpulan Data

Salah satu kasus gangguan operasional transportasi kereta api yang terjadi adalah Lokomotif CC 203 mengalami gangguan tenaga lemah pada tanggal 26 Juni 2019 yang sebelumnya telah dilakukan pemeliharaan 2 tahunan standarisasi nilai parameter *Main Generator* dan *Exciter Generator* di Unit Balai Yasa pada tanggal 18 Oktober 2018.

Data primer adalah data yang dicatat dan didokumentasikan sendiri, sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung melalui referensi atau sumber dari pihak lain. Dibawah ini merupakan rangkaian ekuivalen sistem transisi lokomotif CC 203:



Gambar 1. Sistem Transisi Serie CC203



Gambar 2. Sistem Transisi Paralel CC203

Gambar 1 menunjukkan sistem propulsi serie yang merupakan kombinasi sambungan secara serie 2 buah traksi motor kemudian menghubungkannya lagi secara paralel dengan traksi motor sambungan serie yang lainnya. Gambar 2 menunjukkan hubungan antar traksi motor secara paralel yang akan membuat aliran arus dari generator terbagi menjadi 6. Proses perpindahan sambungan propulsi dapat dilakukan secara manual maupun secara otomatis menyesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi dilintas.

2.3. Pengolahan Dan Analisis Data

Proses pengolahan dan analisis data dimulai dari memasukan parameter input yang sebelumnya diperoleh melalui metode pengukuran secara langsung dilapangan, wawancara dan *Manual Instruction Books*. Pada sistem Eksitasi, parameter input untuk perhitungan yang diperlukan adalah $V_{baterai}$, R_{exr} , R_f , R_a , dan R_{shunt} . Pada *Main Generator* parameter input yang diperlukan adalah besaran nilai Tegangan (VT) dan Arus (I).

Setelah parameter input lengkap, perhitungan dilakukan untuk mencari nilai output *Exciter Generator* $I_{BattField}$, GGL , IL , I_a , I_{shunt} . Sedangkan pada *Main Generator* parameter output yang dicari adalah HP . Untuk Traksi motor dicari nilai daya dan Torsi Elektromagnetiknya.

Tahap selanjutnya dilakukan perbandingan pada nilai standar dan analisis penyimpangan lalu mencari penyebab dari hal tersebut. Untuk lebih memudahkan dalam melihat perbandingan, data diolah dalam Ms.Excell dan digambarkan dalam bentuk grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

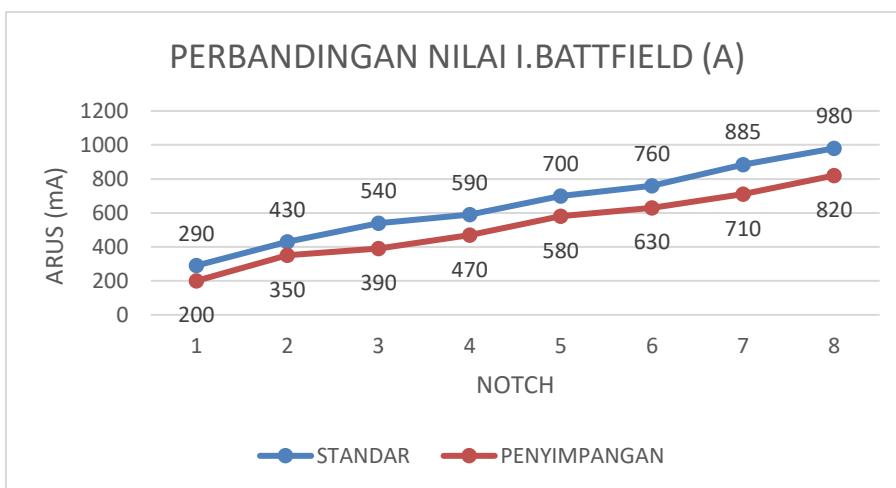
3.1. Perhitungan Nilai Arus *Battery Field*

Persamaan dari arus *Battery Field* digunakan untuk mencari besarnya arus baterai terhadap kumparan medan *Exciter Generator* [7].

$$I.BattField = \frac{V.battery}{R.exr + R.BattField} \quad (1)$$

Tabel 1. Perhitungan Nilai Arus Baterai *Field* (I.BattField)

Notch	V.Battery (V)	R.Exr (KΩ)	R.BattField (Ω)	I.BattField (mA)
1	73	343	22,5	200
2	73	186	22,5	350
3	73	165	22,5	390
4	73	133	22,5	470
5	73	103	22,5	580
6	73	93	22,5	630
7	73	80	22,5	710
8	73	67	22,5	820



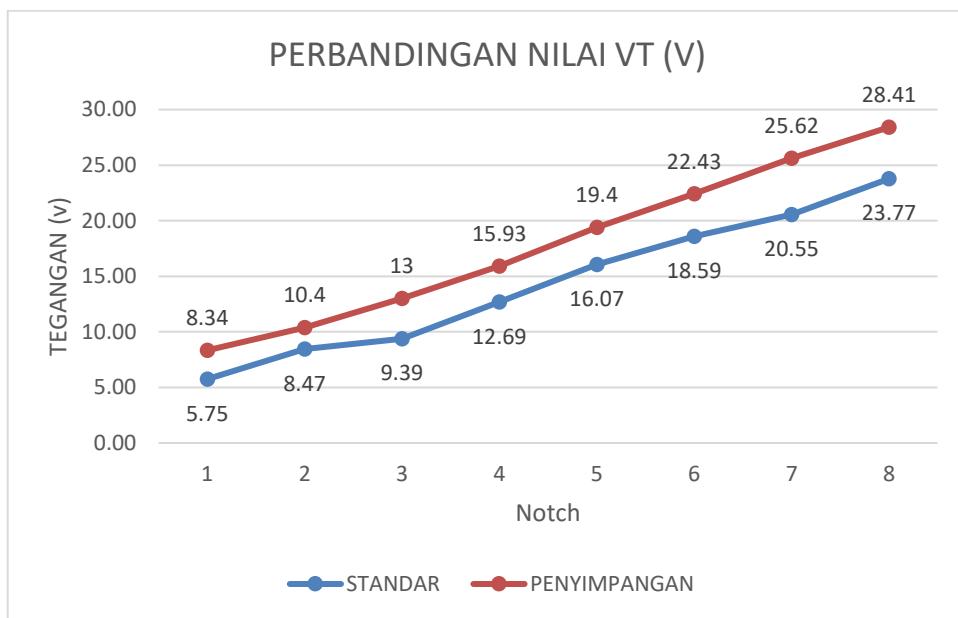
Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai I.BattField

Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan nilai standar arus *Battery Field* dengan kondisi setelah terjadi gangguan. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa nilai arus *Battery Field* mengalami penurunan atau penyimpangan dari standarnya. Hal tersebut dipengaruhi oleh perubahan nilai parameter input R.exr. Penurunan terbesar pada kasus tersebut terjadi pada notch 7 sebesar 175 mA dari 885 mA menjadi 710 mA.

3.2. Perhitungan Nilai IL, IF Shunt, Ia Dan Vt Exciter Generator

Tabel 2. Hasil Perhitungan IL, IF Shunt Dan Ia Exciter Generator

Notch	Vt = Vf (Gen)	Rf (Gen.) Ω	Rf (Exc) Ω	IL (A)	IF.shunt (A)	Ia (A)
1	5,75	1,755	0,45	3,28	12,78	16,06
2	8,47	1,755	0,45	4,82	18,81	23,63
3	9,39	1,755	0,45	5,35	20,86	26,21
4	12,69	1,755	0,45	7,23	28,20	35,43
5	16,07	1,755	0,45	9,16	35,72	44,88
6	18,59	1,755	0,45	10,59	41,32	51,91
7	20,55	1,755	0,45	11,71	45,68	57,39
8	23,77	1,755	0,45	13,55	52,83	66,37



Gambar 4. Perbandingan Nilai Tegangan Terminal (VT) Exciter Generator

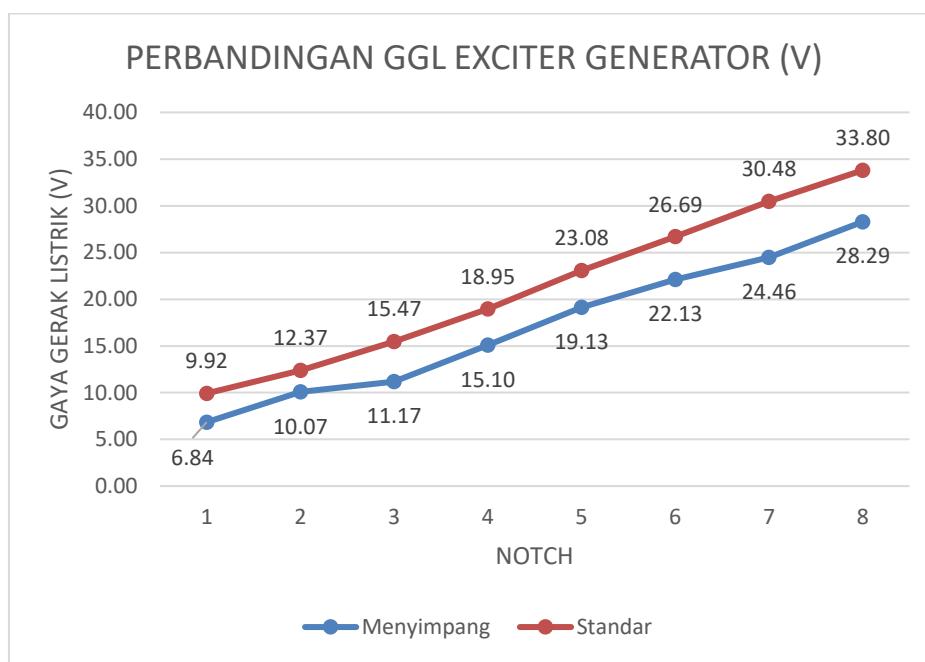
Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai VT mengalami penurunan dan menyimpang dari nilai standar pada saat terjadi gangguan. Hal tersebut dikarekan oleh efek penyimpangan nilai parameter arus *Battery Field* ($I_{BattField}$). Penurunan nilai tegangan terminal (VT) terbesar terjadi pada saat notch 7 dimana penurunan nilai tegangan sebesar 5 Volt dari 25,62 Volt menjadi 20,55 Volt.

3.3. Perhitungan Nilai GGL (Ea) Exciter Generator

Gaya Gerak Listrik (GGL) akan muncul ketika kumparan jangkar diputar memotong garis gaya medan magnet [8]. Persamaan nilai GGL adalah $Ea = Vt - Ia \cdot Ra$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Nilai GGL *Exciter Generator*

Notch	Vt (Exc)	IA (A)	Ra (Ω)	Ea (V)
1	5,75	16,06	0,003	5,80
2	8,47	23,63	0,003	8,54
3	9,39	26,21	0,003	9,47
4	12,69	35,43	0,003	12,80
5	16,07	44,88	0,003	16,21
6	18,59	51,91	0,003	18,75
7	20,55	1,755	0,003	20,73
8	23,77	1,755	0,003	23,97



Gambar 5. Perbandingan Nilai GGL (Ea) *Exciter Generator*

Gambar 5 menunjukkan grafik perbandingan nilai GGL (Ea) *Exciter Generator* standar dengan hasil pengukuran setelah terjadi kasus gangguan. Pada grafik tersebut nilai GGL mengalami penurunan dari nilai standar yang ditetapkan. Penurunan nilai GGL *Exciter Generator* terjadi pada saat Notch 7 sebesar 6,02 Volt dari 30,48 Volt menjadi 24,46 Volt.

3.4. Analisis Perhitungan Pada *Main Generator*

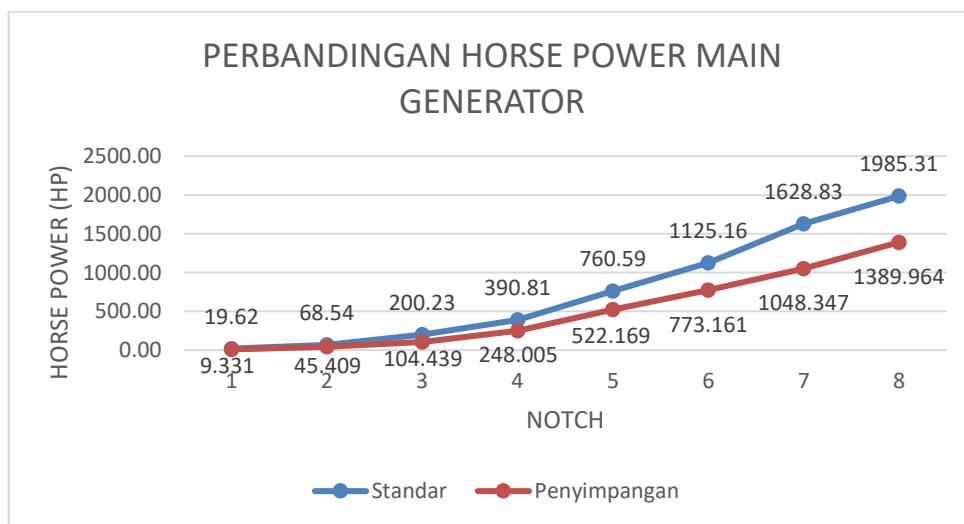
Horse Power adalah suatu besaran yang digunakan untuk menyatakan besarnya daya yang dihasilkan generator untuk bisa menarik beban lokomotif [9]. Persamaannya adalah :

$$HP = \frac{V \times I}{746 \times 0,95} \quad (3)$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai-Nilai Parameter Pada Generator

NOTCH	VOLT (V)	AMP (I)	RA (Ω)	EA (V)	HP
1	54,48	121,38	0,003	54,847	9,331
2	121,28	265,35	0,003	122,075	45,409
3	186,33	397,22	0,003	187,525	104,439
4	289,17	607,81	0,003	290,993	248,005
5	421,74	877,46	0,003	424,375	522,169
6	515,61	1062,71	0,003	518,793	773,161
7	604,10	1229,86	0,003	607,791	1048,347
8	699,51	1408,22	0,003	703,735	1389,964

Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa HP mengalami penurunan nilai dari standar yang ditetapkan. Penurunan nilai tersebut diakibatkan oleh nilai eksitasi yang juga menurun. Penurunan nilai *Horse Power* terbesar pada *Main Generator* terjadi pada Notch 8 sebesar 595 HP dari 1985,31 HP menjadi 1389,96 HP.

**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Nilai *Horse Power Main Generator*

3.5. Analisis Perhitungan Pada Traksi Motor

Pada traksi motor perhitungan yang dilakukan adalah mencari nilai daya terminal (P) dan torsi elektromagnetik pada motor secara keseluruhan (T_{mech}). Torsi elektromagnetik adalah besarnya daya medan magnet untuk menggerakkan rotor [10].

$$T_{mech} = \frac{E_a \times I_a}{100 \pi} \quad (4)$$

Perhitungan dilakukan berdasarkan parameter input dari nilai-nilai *Main Generator* sesuai pada Tabel 6 diatas. Hasil dari perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai Parameter Traksi Motor Transisi Seri

NOTCH	VOLT (V)	AMP (I)	Rs.Total	Ra.Total	EA (V)	Torsi (N.m)	P (Watt)	Losses (Watt)
1	54,48	121,38	0,026	0,0186	49,07	18,97	6613	274
2	121,28	265,35	0,026	0,0186	109,44	92,49	32181	1310
3	186,33	397,22	0,026	0,0186	168,62	213,31	74016	2935
4	289,17	607,81	0,026	0,0186	262,06	507,27	175761	6872
5	421,74	877,46	0,026	0,0186	382,61	1069,18	370061	14321
6	515,61	1062,71	0,026	0,0186	468,21	1584,62	547939	21006
7	604,10	1229,86	0,026	0,0186	549,25	2151,28	742963	28134
8	699,51	1408,22	0,026	0,0186	636,70	2855,48	985067	36886

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai Parameter Traksi Motor Transisi Paralel

NOTCH	VOLT (V)	AMP (I)	Rp.Total	Ra.Total	EA (V)	Torsi (N.m)	Losses (Watt)
1	54,48	121,38	0,006	0,0046	53,20	20,56	68
2	121,28	265,35	0,006	0,0046	118,47	100,11	324
3	186,33	397,22	0,006	0,0046	182,12	230,39	726
4	289,17	607,81	0,006	0,0046	282,73	547,28	1699
5	421,74	877,46	0,006	0,0046	412,44	1152,55	3542
6	515,61	1062,71	0,006	0,0046	504,34	1706,90	5195
7	604,10	1229,86	0,006	0,0046	591,07	2315,06	6958
8	699,51	1408,22	0,006	0,0046	684,58	3070,21	9122

Tabel 5 dan 6 merupakan hasil dari perhitungan nilai traksi motor dengan sistem transisi seri dan paralel. Dengan sistem transisi paralel menghasilkan nilai output dari GGL (Ea) dan Torsi Elekromagnetik lebih besar dibandingkan sistem transisi serie. Dalam hasil perhitungan faktor *Losses* kumparan *Armature* pada sistem transisi paralel lebih kecil dibandingkan dengan serie, semakin kecil nilai *Losses* maka akan semakin baik efisiensi yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa semua parameter output pada *Exciter Generator* dan *Main Generator* mengalami penurunan nilai pada setiap Notch nya sehingga membuat tenaga lemah lokomotif. Penyebab dari hal tersebut adalah menurunnya nilai Eksitasi sehingga membuat nilai output dari *Main Generator* menjadi menurun dan juga berimbang pada suplai daya traksi motor. Seperti pada Gambar 6, *Main Generator* hanya dapat mengeluarkan *Horse Power* maksimal pada Notch 8 sebesar 1389,96 HP dari yang seharusnya sebesar 1985,31 HP dengan penurunan nilai sebesar 595 HP. Perubahan nilai tahanan *Variable Resistor R.exr* mengakibatkan suplai arus baterai terhadap kumparan *Field Exciter Generator* tidak maksimal sehingga mempengaruhi nilai GGL *Exciter Generator* seperti pada Gambar 5 dimana GGL mengalami penurunan terbesar pada saat Notch 7 sebesar 6,02 Volt dari 30,48 Volt menjadi 24,46 Volt.

Penurunan nilai GGL *Exciter Generator* mempengaruhi nilai tegangan terminalnya (V_t) seperti pada Gambar 4 dimana penurunan nilai tegangan terminal (V_t) terbesar terjadi pada saat notch 7 sebesar 5 Volt dari 25,62 Volt menjadi 20,55 Volt. Perubahan nilai output *Main Generator* berimbang pada traksi motor yang hanya dapat mengeluarkan daya terminal sebesar 985,067Watt dari daya sebesar 1407 KWatt. Torsi Elektromagnetik maksimal pada Notch 8 sebesar 2855,48 N.m pada traksi motor transisi seri dan 3070,21 N.m pada traksi motor transisi paralel. Nilai *Losses* jangkar pada sistem transisi seri lebih besar dibandingkan transisi paralel,. *Losses* pada saat transisi seri sebesar 36886Watt dan transisi paralel sebesar 9122 Watt.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada perusahaan yang telah memberi dukungan dan membantu pelaksanaan penelitian ini dan juga kepada semua pihak yang telah terlibat sehingga dapat terselesaikannya penelitian ini. Semoga Allah SWT membalas setiap kebaikan dengan kebaikan yang berlebih. Aamiin

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Depo Lokomotif Bandung, "LAPORAN BULANAN," 2020.
- [2] U. Y. Prakoso and M. Sadikin, "Sistem Propulsi Pada Kereta Rel Listrik Di Depo Krl Depok," 2013.
- [3] L. Shalahuddin, K. E. Putranto, and D. B. Eskayudha, "Propulsion System Design For The Indonesian Semi High Speed Train" 2019.
- [4] E. Agenjos et al., "Energy efficiency in railways: Energy storage and electric generation in diesel electric locomotives," IET Conf. Publ., no. 550 CP, 2009, doi: 10.1049/cp.2009.0734.
- [5] J. T. Elektro and P. N. Padang, "Analisis Penentuan Tegangan Terminal Pada Generator DC Penguat Terpisah Untuk Beban Variabel Menggunakan Kurva Saturasi Tanpa Beban Defining of Output Voltage at Load Variable Separately Field Direct Current Generator Using No-load Curve Analysis," Poli Rekayasa, vol. 8, no. April, pp. 40–46, 2013.
- [6] S. Muttaqin, "Analisa Karakteristik Generator dan Motor DC," no. 21060112130034, pp. 1–11, 2013.
- [7] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, and S. D. Umans, Electric Machinery Fundamentals - 6th ed, 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [8] S. J. Chapman, Electric Machinery Fundamentals, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- [9] M. Maruchan, "Sistem Elektrik Lokomotif," Bandung: Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Ir.H.Djuanda PT.KAI, 2016.
- [10] H. Sutrisno, Suryono, and P. H. Hastungkoro, Motor Listrik Arus Searah. Klaten: Saka Mitra Kompetensi, 2011.