

PENERAPAN SISTEM ACR-PCR DALAM PROSES EVALUASI STRUKTUR PERKERASAN LENTUR BANDAR UDARA SULTAN ISKANDAR MUDA PROVINSI ACEH

Luthfi Chaliqi Taufiq^{1*}, Yusria Darma², Alfi Salmannur³, Cut Nella Asyifa⁴

^{1,2,3,4}) Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111

*)email: luthfict@usk.ac.id

Diterima : 10 April 2023
Direvisi : 30 April 2023

Disetujui : 2 Mei 2023
Diterbitkan : 31 Mei 2023

Abstract: ICAO (International Civil Aviation Organization) is introducing new method of reporting airport pavement strength rating using ACR-PCR (Aircraft Classification Rating - Pavement Classification Rating) system replacing the previous ACN-PCN (Aircraft Classification Number - Pavement Classification Number) system. This new system is expected to be fully implemented by all ICAO member states by the year 2024. With this system the pavement rating value is determined using the Mechanistic-Empirical (ME) principle which considers the response of the pavement structure and estimation of the number of permissible load passages using certain damage model. This study describes the evaluation of the flexible pavement structure of Sultan Iskandar Muda Airport using the ACR-PCR system assisted by the FAARFIELD 2.0 and ICAO-ACR programs. PCR value determined based on aircraft and in situ pavement characteristics obtained from overlay detailed engineering design study conducted by airport operator in 2018. Based on the analysis performed, it is known that wide-body aircraft such as A330-300 and B777-300ER significantly contribute to the damage of pavement layer despite relatively low operational frequency. Based on calculation, PCR value is obtained based on maximum ACR value of B777-300ER to be 1149 F/D/W/T and 2433 F/D/W/T based on fatigue crack damage in asphalt layers and permanent deformation in subgrade layers, respectively. It is also known that the asphalt layer is a critical layer with a CDF value > 1.

Keywords : ACR-PCR, Mechanistic-Empirical, FAARFIELD, ICAO-ACR, Fatigue Cracking, Permanent Deformation

Abstrak: ICAO (International Civil Aviation Organization) menerbitkan sistem rating kekuatan struktur perkerasan bandar udara yang baru menggunakan metode ACR-PCR (Aircraft Classification Rating - Pavement Classification Rating) yang menggantikan sistem ACN-PCN (Aircraft Classification Number - Pavement Classification Number). Sistem ini direncanakan secara penuh diterapkan oleh seluruh negara anggota ICAO pada tahun 2024. Dengan sistem ini nilai rating perkerasan ditentukan menggunakan prinsip Mekanistik-Empirik (ME) yang mempertimbangkan respon struktur perkerasan dan estimasi jumlah lintasan izin dengan model kerusakan tertentu. Penelitian ini menguraikan evaluasi terhadap struktur perkerasan lentur Bandar Udara Sultan Iskandar Muda menggunakan sistem ACR-PCR dibantu dengan program FAARFIELD 2.0 dan ICAO-ACR. Nilai PCR ditentukan berdasarkan data karakteristik pesawat udara dan struktur perkerasan yang diperoleh dari studi perencanaan teknis terperinci konstruksi overlay yang dilaksanakan oleh operator bandara pada tahun 2018. Berdasarkan analisis yang dilakukan diketahui bahwa pesawat berbadan lebar kelas A330-300 dan B777-300ER berkontribusi signifikan terhadap tingkat kerusakan struktur perkerasan meskipun beroperasi dengan frekuensi yang relatif lebih kecil. Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai PCR berdasarkan ACR maksimum pesawat udara B777-300ER 1149 F/D/W/T dan 2433 F/D/W/T masing-masing berdasarkan kerusakan retak lelah pada lapis beraspal dan deformasi permanen pada lapis tanah dasar. Diketahui pula lapis beraspal merupakan lapis kritis dengan nilai CDF > 1.

Kata kunci : ACR-PCR, Mekanistik-Empirik, FAARFIELD, ICAO-ACR, Retak Lelah, Deformasi Permanen

1. PENDAHULUAN

Transisi Menuju Sistem ACR-PCR

Sejak tahun 1980an, ICAO (*International Civil Aviation Organisation*) dan negara anggotanya mengadopsi sistem ACN-PCN untuk melaporkan kekuatan struktur perkerasan bandar udara. ACN (*Aircraft Classification Number*) menggambarkan angka yang mewakili efek relatif pembebanan pesawat udara dengan tekanan roda tertentu terhadap struktur perkerasan pada kategori kekuatan tanah dasar tertentu. Sedangkan PCN adalah angka yang mewakili daya dukung struktur perkerasan untuk melayani operasi penerbangan pesawat udara tanpa adanya batasan beban operasional (*unrestricted operation*) [1]. Sistem ACN-PCN dirancang sedemikian rupa sehingga sebuah struktur perkerasan dengan nilai PCN tertentu dapat melayani (tanpa adanya batasan beban operasional) pergerakan pesawat udara dengan nilai ACN yang sama dengan atau lebih kecil dari nilai PCN. Hal ini dimungkinkan karena nilai ACN dan PCN ditentukan menggunakan basis metode yang sama [2]. FAA (*Federal Aviation Administration*) mempublikasikan pedoman penentuan nilai PCN terbaru pada tahun 2014 dengan bantuan program komputer COMFAA serta spreadsheet penentuan tebal ekivalen/evaluasi. FAA mengadopsi metode yang diusulkan oleh Boeing [3] menggunakan konsep yang sama dengan metode ICAO [1] terutama dalam aspek penentuan kebutuhan tebal perkerasan pesawat udara berbasis kurva CBR yang dikembangkan pada tahun 1977 [4]. Seiring dengan berkembangnya metode perencanaan struktur perkerasan yang lebih rasional berbasis mekanistik empirik (ME), mulai diidentifikasi anomali dimana tebal perkerasan yang dihasilkan untuk melayani pesawat udara rencana justru memiliki nilai PCN yang tidak memungkinkan pengoperasian pesawat udara rencana tersebut tanpa batasan beban [5]. Sebagai respon terhadap anomali tersebut, ICAO memperkenalkan sistem ACR-PCR untuk menyelaraskan proses perencanaan struktur perkerasan berbasis ME dan proses publikasi kekuatan struktur perkerasan. Sistem ini direncanakan secara penuh diterapkan oleh seluruh negara anggota ICAO pada tahun 2024. Sistem ACR-PCR menggunakan prinsip LEA (*Layered Elastic Analysis*) sebagai dasar model matematis. Model LEA mengasumsikan struktur perkerasan, baik lentur maupun kaku, dapat dianggap sebagai susunan lapis material yang homogen, elastis, dan isotropis dimana tiap lapis material memiliki tebal yang seragam serta nilai modulus dan rasio Poisson masing-masing. Penggunaan model ini memungkinkan adanya korelasi yang lebih baik dengan berbagai metode perencanaan struktur perkerasan berbasis ME [6] [7].

Rating Kekuatan Perkerasan Berbasis ME

Terdapat beberapa studi sebelumnya yang mencoba untuk menerapkan metode yang lebih rasional dalam penentuan nilai PCN struktur perkerasan sebelum sistem ACR-PCR diperkenalkan. Chou, dkk [8] menggunakan data lendutan hasil uji HWD (*Heavy Weight Deflectometer*) untuk mengarakterisasi struktur perkerasan dalam penentuan nilai PCN perkerasan kaku dengan basis metode desain dari PCA (*Portland Cement Association*). Bazi, dkk [9] menerapkan konsep ME dalam penentuan nilai PCN dan juga menggunakan data lendutan untuk menentukan nilai modulus efektif lapis perkerasan serta mempertimbangkan efek dari variasi temperatur. Penggunaan konsep PWM (*Permissible Weight Multiplier*) untuk mengkuantifikasi berat izin operasional dari pesawat udara yang digunakan dalam penelitian ini juga dijelaskan dalam [9].

Praktik Penentuan Rating Kekuatan Perkerasan di Indonesia

Saat ini Indonesia masih menerapkan sistem ACN-PCN dalam penentuan *rating* kekuatan struktur perkerasan. Pedoman penentuan nilai PCN di Indonesia diatur dalam Peraturan Dirjen Perhubungan Udara Nomor 93 Tahun 2015 [10]. Terdapat banyak literatur yang menguraikan penerapan sistem ACN-PCN di Indonesia [11] [12] [13] namun belum menerapkan konsep ME dalam analisis. Melalui penelitian ini akan diuraikan penerapan sistem ACR-PCR dalam evaluasi struktur perkerasan lentur di Bandara SIM Provinsi Aceh. Dengan metode ACR-PCR, penentuan nilai *rating* perkerasan bandar udara ditentukan berdasarkan prinsip ME yang mempertimbangkan respon struktur perkerasan serta prediksi kerusakan lapis perkerasan. Melalui penerapan sistem ini diharapkan dapat diperoleh *rating* struktur perkerasan yang lebih sesuai dengan kinerja aktual perkerasan terpasang.

Bandara Sultan Iskandar Muda

Bandara Sultan Iskandar Muda (selanjutnya disebut Bandara SIM) terletak di Kabupaten Aceh Besar, merupakan bandara utama di Provinsi Aceh. Bandara ini menjadi salah satu gerbang utama logistik bantuan pada saat bencana gempa dan tsunami di Aceh tahun 2004. Saat ini Bandara SIM melayani penerbangan rutin menuju Medan, Jakarta, Penang, dan Kuala Lumpur dengan pesawat udara kelas B739, B738 dan A320, serta penerbangan Umrah dan Haji menggunakan pesawat udara kelas A330. Konstruksi perkerasan runway Bandara SIM telah dimulai sejak masa pendudukan Pemerintah Jepang pada Tahun 1943 dan telah mengalami beberapa kali pengembangan berupa perpanjangan dan pelebaran. Pada tahun 2009, fasilitas sisi udara kembali dikembangkan mencakup

perpanjangan runway menjadi 3000 m serta tambahan dua *connecting taxiway* baru, satu *taxiway paralel*, dan perluasan *apron* [14] [15]. Jumlah permintaan angkutan udara di Bandara SIM diproyeksi terus mengalami peningkatan. Mengacu pada rencana induk tahap ultimit, direncanakan Bandara SIM akan melayani lebih dari 1,5 juta penumpang per tahun [16]. Selain itu fasilitas sisi udara direncanakan akan mampu secara rutin melayani pesawat udara sekelas B777-300ER yang diketahui memiliki nilai ACN melebihi pesawat berbadan lebar lainnya yang saat ini beroperasi di Bandara SIM seperti A330 dan B747. Untuk mengantisipasi pergerakan jenis pesawat udara kritis di tahap ultimit maka dibutuhkan evaluasi mendalam mengenai kesiapan infrastruktur sisi udara terutama pada aspek struktur perkerasan.

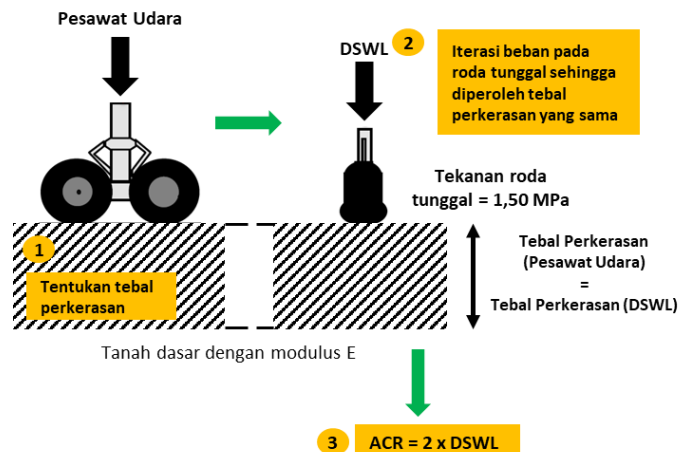
2. STUDI PUSTAKA

Konsep ACR-PCR

Sistem ACR-PCR memiliki konsep dasar yang sama seperti ACN-PCN dimana struktur perkerasan dengan nilai PCR tertentu dapat melayani (tanpa adanya batasan beban operasional) pergerakan pesawat udara dengan nilai ACR yang sama dengan atau lebih kecil dari nilai PCR [7]. Sama seperti sistem pada sistem ACN-PCN terdapat dua metode dalam penentuan PCR yaitu metode U (*Using Aircraft*) dan T (*Technical*). Metode U merupakan metode yang lebih sederhana dimana nilai PCR struktur perkerasan yang dipublikasikan adalah nilai ACR terbesar dari pesawat udara yang beroperasi secara rutin pada perkerasan. Metode ini lebih sederhana karena tidak memerlukan informasi rinci terkait struktur perkerasan. Sementara penentuan nilai PCR dengan metode T mempertimbangkan karakteristik struktur perkerasan terpasang di lapangan serta frekuensi operasional seluruh pesawat udara yang dilayani [7].

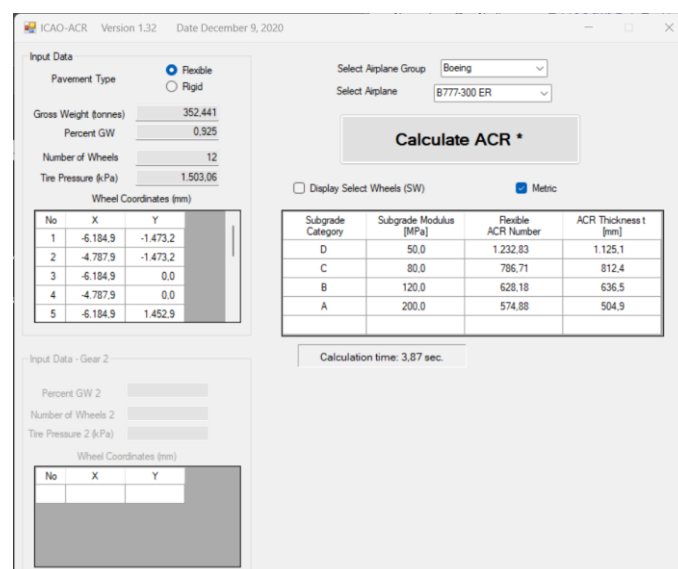
Penentuan ACR

Secara numerik, ACR didefinisikan sebagai dua kali nilai DSWL (*Derived Single Wheel Load*). DSWL adalah beban roda tunggal dengan tekanan ban 1,5 MPa yang membutuhkan tebal perkerasan yang sama dengan pesawat udara yang ditinjau [7]. Konsep ACR dan kaitannya dengan DSWL diperlihatkan pada **Gambar 1** [17]. Dari gambar tersebut dapat diidentifikasi beberapa perbedaan mendasar antara ACR dan ACN. Dari aspek penentuan tebal perkerasan, ACR menggunakan metode rasional berbasis ME sedangkan ACN menggunakan metode empiris seperti CBR (perkerasan lentur) dan Westergaard (perkerasan kaku).



Gambar 1 Konsep Penentuan ACR [17]

Selain itu perbedaan terletak pada tekanan pada roda tunggal dalam penentuan DSWL. Untuk perkerasan lentur, nilai DSWL ACR dan ACN masing-masing ditentukan berdasarkan tekanan roda 1,50 MPa dan 1,25 MPa. FAA mempublikasikan program komputer ICAO-ACR 3.0 untuk perhitungan nilai ACR berbagai pesawat udara komersil maupun militer. **Gambar 2** memperlihatkan tangkapan layar dari program tersebut [18].



Gambar 2 Contoh tangkapan layar ICAO-ACR 3.0 [18]

Penentuan PCR

FAA menguraikan prosedur penentuan nilai PCR sebagaimana diperlihatkan pada **Gambar 3**. Tahapan yang krusial dari prosedur penentuan nilai PCR adalah identifikasi pesawat udara kritis yang memberikan kontribusi kerusakan terbesar kepada struktur perkerasan selama umur layan serta berat operasional maksimum yang diizinkan untuk frekuensi jumlah pergerakan tahunan tertentu.

Mengacu pada FAA, Kontribusi kerusakan tiap pesawat udara dikuantifikasi melalui parameter CDF (*Cumulative Damage Factor*) yang diturunkan dari prinsip Miner dan asumsi bahwa kerusakan yang timbul pada perkerasan adalah proporsional terhadap jumlah pengulangan beban, dibagi dengan jumlah pengulangan beban yang dibutuhkan hingga tercapai kondisi kegagalan. Untuk struktur perkerasan bandar udara, CDF ditentukan menggunakan **Persamaan 1** [7].

$$\text{CDF} = \frac{\text{number of load repetitions}}{\text{number of allowable repetitions to failure}} \quad (1)$$

$$= \frac{(P/C) \times \text{coverages to failure}}{(P/C) \times \text{coverages to failure}}$$

Jika $\text{CDF} > 1$ maka dapat dikatakan bahwa perkerasan telah mengalami kegagalan. Dalam proses desain dan evaluasi perkerasan bandar udara, jumlah repetisi beban pesawat udara dikonversi ke nilai *coverages* dengan membagi jumlah perkiraan lintasan selama umur layan dengan *pass to coverageratio* (P/C). Nilai P/C digunakan untuk mempertimbangkan efek pergerakan jalur lintasan roda pesawat dalam arah lateral [7]. Program FAARFIELD 2.0 menentukan nilai CDF berdasarkan dua model kegagalan, yaitu kegagalan berdasarkan regangan vertikal maksimum pada tanah dasar (ϵ_z) dan regangan horizontal maksimum di bawah lapis beraspal (ϵ_h) sebagaimana diilustrasikan dalam **Gambar 4** [19].

Desain/berdasarkan regangan vertikal pada tanah dasar berkaitan dengan upaya untuk mengantisipasi terjadinya deformasi permanen, sedangkan regangan horizontal di bawah lapis beraspal berkaitan dengan upaya untuk mencegah terjadinya retak leleh yang dimulai dari bawah (*bottom-up cracking*) [20].

FAA menggunakan Model Bleasdale untuk memperkirakan jumlah repetisi beban izin berdasarkan regangan vertikal pada lapis tanah dasar. Model tersebut diperlihatkan pada **Persamaan 2** atau **Persamaan 3**. [21].

$$C = \left(\frac{0,002428}{\epsilon_z} \right)^{14,21}, \text{ if } C > 12100 \quad (2)$$

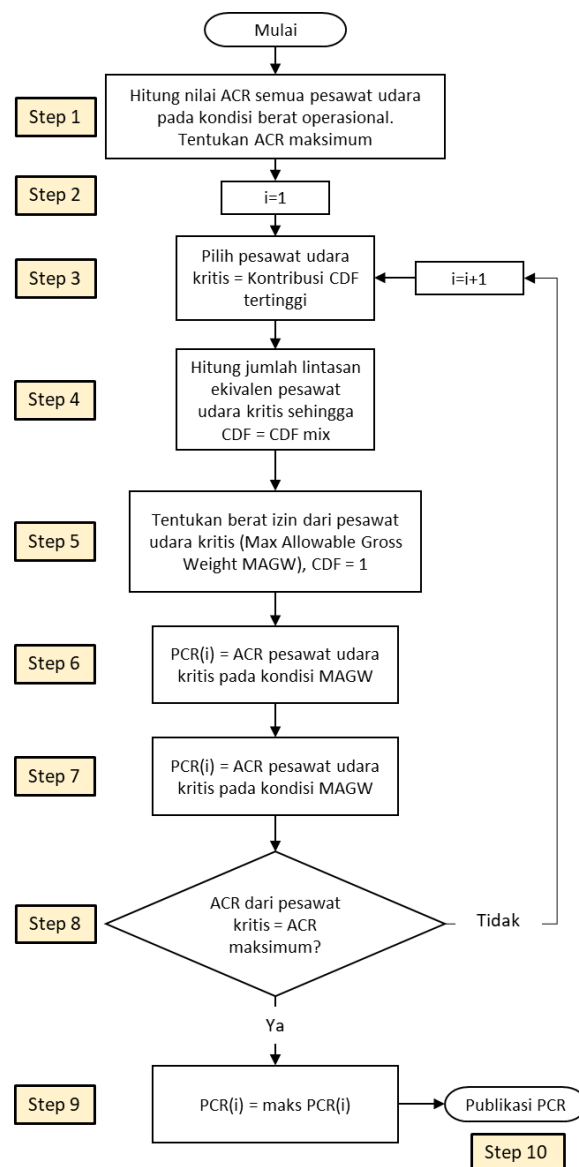
$$C = \left(\frac{0,004141}{\epsilon_z} \right)^{8,1}, \text{ if } C \leq 12100$$

Atau dapat ditulis dalam bentuk

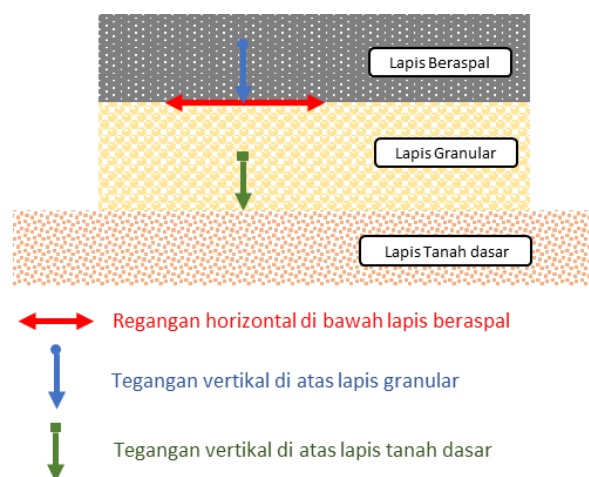
$$\epsilon_z = (0,002428) C^{-\frac{1}{14,21}}, \text{ if } C > 12100 \quad (3)$$

$$\epsilon_z = (0,004141) C^{-\frac{1}{8,1}}, \text{ if } C \leq 12100$$

Dimana C, (MC) = coverages (dalam juta), ϵ_z ($\mu\epsilon_z$) = regangan vertikal pada tanah dasar, strain (dalam micro strain).



Gambar 3 Prosedur kalkulasi PCR [7]



Gambar 4 Ilustrasi respon struktur perkerasan

Kegagalan berdasarkan regangan horizontal lapis beraspal ditentukan dengan persamaan yang dikembangkan oleh Shen dan Carpenter menggunakan konsep *Ratio of Dissipated Energy Change* (RDEC) [22].

Konsep RDEC menghasilkan nilai PV (*Plateu Value*) yang berkorelasi dengan parameter gradasi dan volumetrik campuran beraspal.

$$N_f = 0,4801PV^{-0,9007}$$

$$PV = 44,422\varepsilon_h^{5,14}S^{2,993}VP^{1,85}GP^{-0,4061} \quad (4)$$

atau dapat ditulis dalam bentuk

$$\mu\varepsilon_h = 9,94VP^{-0,356}GP^{0,079}MN_f^{-0,216}\left(\frac{S}{500}\right)^{-0,5823} \quad (5)$$

Dimana N_f (MN_f) = jumlah coverages (dalam juta), ε_h , ($\mu\varepsilon_h$) = regangan horizontal di bawah lapisan beraspal, strain (dalam microstrain), S = kekakuan lentur (psi), VP (*volumetric parameter*) = $V_a/(V_a+V_b)$, GP (*gradation parameter*) = $(P_{NMS}-P_{PCS})/P_{200}$. V_a = volume rongga udara, V_b = volume aspal, P_{NMS} = persen agregat yang lolos saringan nominal maksimum, P_{PCS} = persen agregat yang lolos saringan kontrol utama, P_{200} = persen agregat yang lolos saringan No 200. Nilai kuat lentur, S dalam **Persamaan 4** dan **Persamaan 5** tidak sama dengan nilai kuat lentur yang digunakan untuk analisis respon struktur, namun merupakan kuat lentur awal (*initial flexural stiffness*) pada pengujian laboratorium saat model dikembangkan [23]. Dengan menggunakan model kerusakan yang diuraikan dalam **Persamaan 2**, **Persamaan 3**, **Persamaan 4**, dan **Persamaan 5**, dapat ditentukan total kerusakan akibat pembebanan tiap pesawat udara, CDF_{mix} . Selanjutnya sesuai dengan **Gambar 3**, jumlah ekuivalen pesawat udara kritis dapat ditentukan dengan mengiterasi jumlah pergerakan tahunan hingga diperoleh $CDF_i = CDF_{mix}$. Berat izin maksimum pesawat udara kritis (MAGW) dengan jumlah pergerakan ekuivalen ditentukan dengan mengiterasi berat pesawat udara sehingga diperoleh $CDF = 1$. Proses ini memakan waktu lama sehingga MAGW ditentukan dengan **Persamaan 6** [9].

$$MAGW = w \times CDF_{mix}^B \quad (6)$$

Dimana w = berat operasional pesawat udara, B = koefisien berdasarkan model kerusakan yang digunakan. Nilai CDF_{mix}^B juga disebut sebagai *Permissible Weight Multiplier* (PWM). Pada dasarnya PWM merupakan rasio antara respon struktur (regangan maupun tegangan) yang diizinkan dan respon aktual yang terjadi. Berikutnya, nilai ACR dari pesawat

kritis ditentukan pada kondisi MAGW. Jika ACR_{MAGW} pesawat ke- i merupakan nilai ACR maksimum, maka nilai tersebut dapat dipublikasikan sebagai nilai PCR dari struktur perkerasan.

3. METODE PENELITIAN

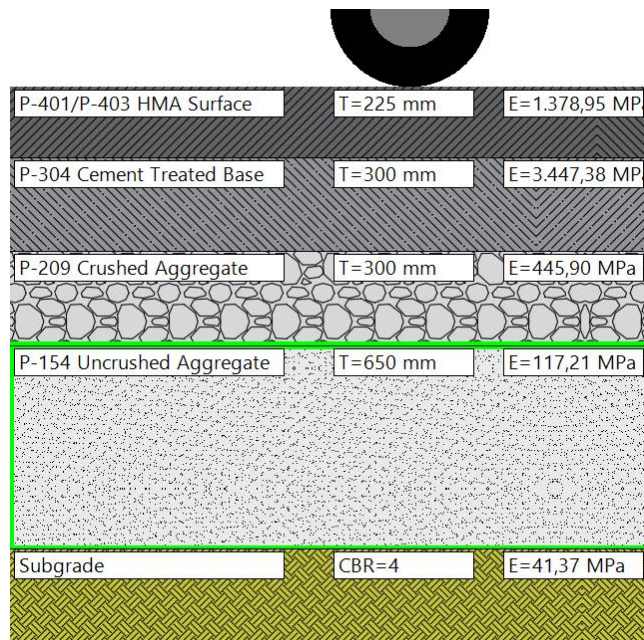
Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi struktur perkerasan lentur Bandara Sultan Iskandar Muda menggunakan sistem ACR-PCR dengan mempertimbangkan prediksi akumulasi kerusakan pada lapis beraspal dan lapis tanah dasar. Penelitian dimulai dengan akuisisi data karakteristik pesawat udara dan struktur perkerasan. Data ini diperoleh dari studi perencanaan teknis terperinci konstruksi *overlay* yang dimiliki oleh PT. Angkasa Pura 2 yang dilaksanakan tahun 2018. Proses penentuan nilai PCR yang digunakan dalam penelitian mengikuti prosedur yang diuraikan oleh FAA yang diperlihatkan pada Gambar 3. Nilai ACR dikalkulasi menggunakan program ICAO ACR versi 1.3.2 [18]. Respons struktur perkerasan diperoleh dari *output* file melalui analisis dengan program FAARFIELD versi 2.0 [23].

Karakteristik Pergerakan Pesawat Udara

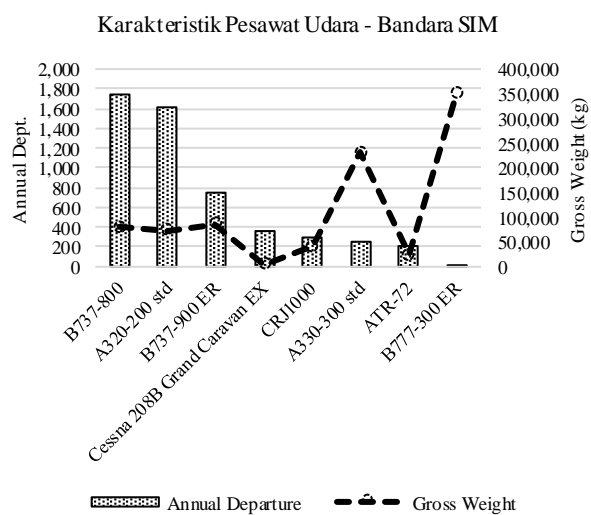
Data jenis dan jumlah pergerakan tahunan pesawat udara di Bandara SIM yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tahun 2017 yang tersedia melalui studi tahun 2018 [15]. Karakteristik pesawat udara dapat dilihat pada **Gambar 6**. Berdasarkan data yang diperoleh diketahui jenis pesawat yang beroperasi di Bandara SIM didominasi oleh pesawat *narrow body* sekelas seri Boeing 737 dan Airbus A320. Dalam penelitian ini, berat operasional tiap pesawat udara diasumsikan sama dengan MTOW (berat maksimum lepas landas).

Karakteristik Struktur Perkerasan

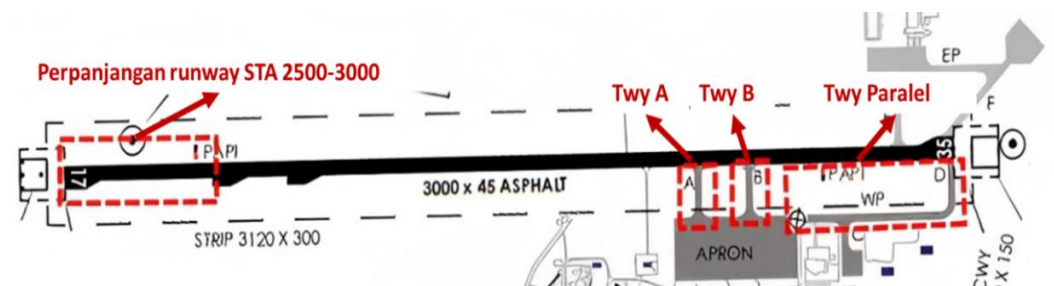
Konstruksi perkerasan yang ditinjau hanya konstruksi pengembangan sisi udara yang selesai dikonstruksi tahun 2009-2011 yaitu area taxiway A, taxiway B, taxiway paralel dan perpanjangan runway dari STA 2+500 – 3+000 (**Gambar 7**). Berdasarkan data yang diperoleh, keempat area tersebut memiliki struktur perkerasan yang sama. Idealnya karakteristik modulus dari tiap lapisan diperoleh melalui uji laboratorium atau diperkirakan melalui analisis *backcalculation* data lendutan. Namun karena keterbatasan, penelitian ini menggunakan *default values* dari program FAARFIELD 2.0. Untuk estimasi jumlah lintasan izin berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal, penelitian ini menggunakan **Persamaan 4** atau **Persamaan 5**. Parameter gradasi dan volumetrik yang digunakan adalah *default Values* yang digunakan dalam program FAARFIELD.



Gambar 5 Karakteristik struktur perkerasan



Gambar 6 Karakteristik Pesawat Udara Bandara SIM



Gambar 7 Area Struktur Perkerasan yang Ditinjau. [24]

Permissible Weight Multiplier (PWM)

Untuk kalkulasi nilai MAGW, digunakan **Persamaan 6** dengan koefisien B pada **Tabel 1**.

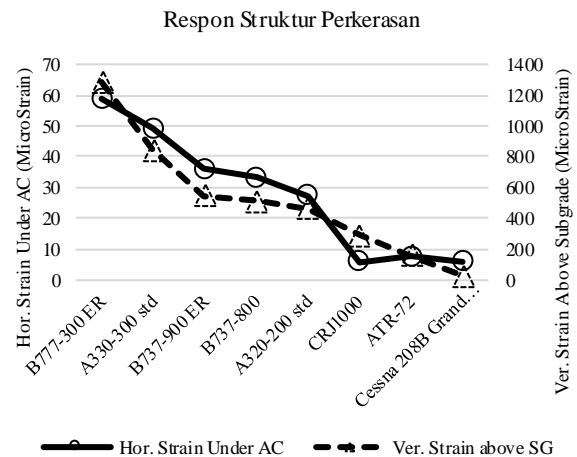
Tabel 1 Nilai Koefisien B

Persamaan	Koefisien B
(2) atau (3)	-0,070 (if $C > 12100$)
	-0,123 (if $C \leq 12100$)
(4) atau (5)	-0,216

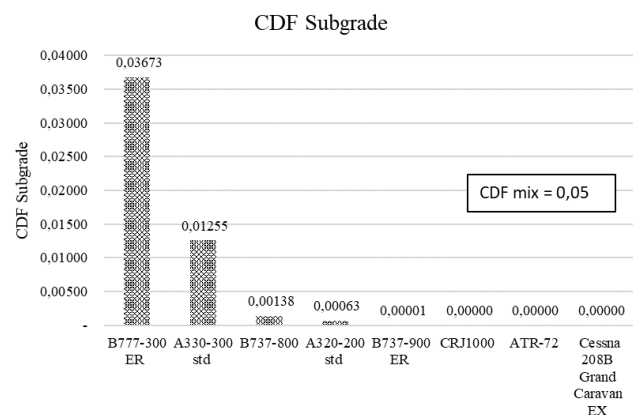
4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Gambar 8 memperlihatkan respon struktur perkerasan oleh pembebanan tiap pesawat udara berdasarkan analisis menggunakan LEA dengan bantuan program FAARFIELD 2.0. Seperti yang telah diperkirakan, pesawat berbadan lebar seperti B777-300ER dan A330 memberikan nilai respon struktur yang paling kritis. **Gambar 9** dan **Gambar 10** memperlihatkan hasil analisis nilai CDF berdasarkan kriteria deformasi permanen lapis tanah dasar dan kriteria retak lelah lapis beraspal. Berdasarkan analisis diketahui pesawat udara B777-300ER berkontribusi maksimum terhadap kerusakan berdasarkan kriteria deformasi permanen tanah dasar, sementara pesawat A330 berkontribusi maksimum terhadap kerusakan berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal. Diketahui pula lapis beraspal merupakan lapis kritis karena nilai $CDF_{mix} > 1$. **Gambar 11** dan **Gambar 12** memperlihatkan *plotting* persentase kontribusi nilai CDF tiap pesawat udara terhadap jumlah pergerakan keberangkatan tahunan. Berdasarkan gambar tersebut diketahui bahwa kontribusi kerusakan tidak selalu berkorelasi dengan jumlah pergerakan.

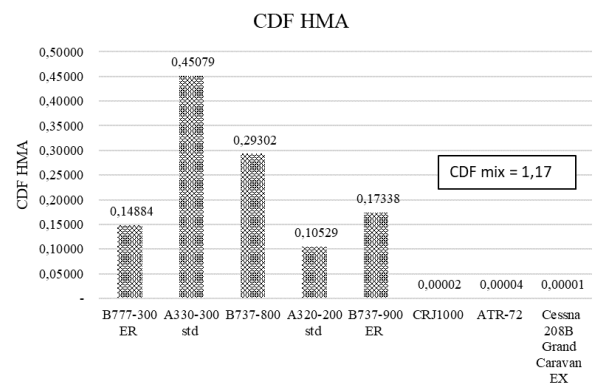
Hal tersebut terlihat pada pesawat udara B777-300ER yang berkontribusi cukup signifikan terhadap kerusakan baik berdasarkan retak lelah lapis beraspal maupun deformasi permanen lapis tanah dasar meskipun dengan jumlah pergerakan tahunan < 25 kali dalam satu tahun. Efek kerusakan akibat pesawat udara B777-300ER telah banyak diteliti. Salah satu penelitian memberikan indikasi adanya pengaruh dari konfigurasi *Triple Dual Tandem* (TDT) pada roda utama pesawat B777-300ER yang menghasilkan respon struktur yang relatif lebih ekstrim sehingga berkontribusi dominan terhadap kerusakan [25]. Oleh karena itu, rencana operasional pesawat B777-300ER secara rutin dengan frekuensi pergerakan yang lebih banyak di masa mendatang harus disertai dengan evaluasi struktur perkerasan secara periodik untuk menjamin tingkat pelayanan yang baik.



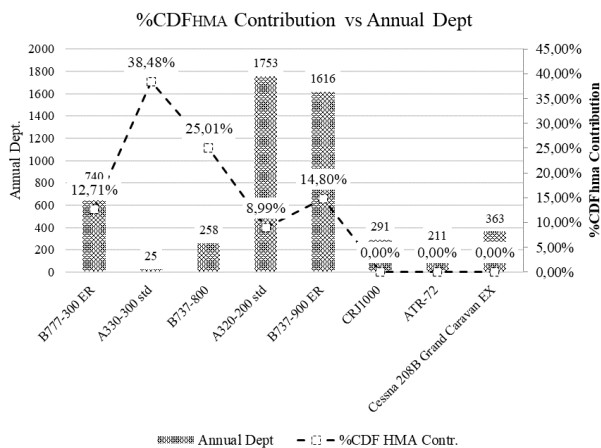
Gambar 8 Respon Struktur Perkerasan



Gambar 9 CDF lapis tanah dasar (subgrade)

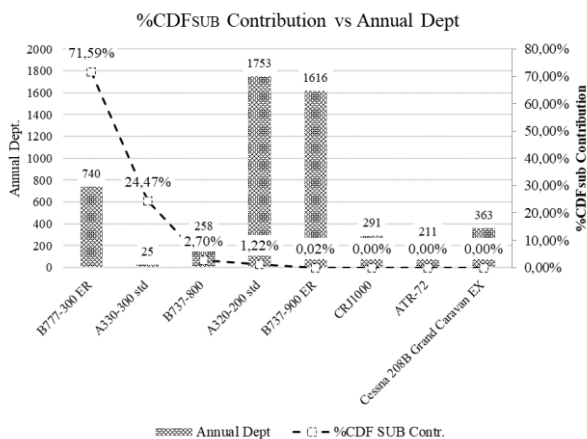


Gambar 10 CDF lapis beraspal (HMA)



Gambar 11 %CDF_{HMA} Contribution vs Annual Dept

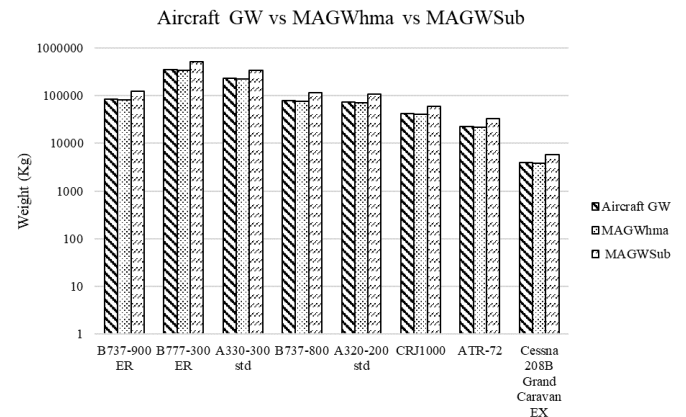
Gambar 13 memperlihatkan perbandingan antara berat operasional dan berat maksimum yang diizinkan berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal (MAGW_{HMA}) dan kriteria deformasi permanen lapis tanah dasar (MAGW_{SUB}).



Gambar 12 %CDF_{SUB} Contribution vs Annual Dept

Dari **Gambar 13** diketahui bahwa berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal, berat maksimum yang diizinkan $\pm 96\%$ dari berat operasional. Sedangkan berdasarkan kriteria deformasi permanen, berat maksimum yang diizinkan adalah $\pm 14\%$ melebihi berat operasional. Dari informasi tersebut dapat disimpulkan bahwa lapis beraspal merupakan lapis kritis. Hal ini menekankan perlunya mempertimbangkan kerusakan pada lapis beraspal dalam penentuan *rating* dari struktur perkerasan. Prosedur penentuan nilai PCR yang diberikan oleh FAA [7] diketahui hanya mempertimbangkan kerusakan pada lapis tanah dasar sehingga ada kemungkinan dihasilkannya nilai *rating* PCR yang konservatif.

Tabel 2 memperlihatkan rekapitulasi nilai ACR untuk tiap pesawat udara pada kondisi MAGW berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal dan deformasi permanen lapis tanah dasar.



MAGW: Maximum Allowable Gross Weight

Gambar 13 Berat operasional pesawat vs berat izin maksimum

Tabel 2 Rekapitulasi nilai ACR pada kondisi MAGW

Pesawat Udara	ACR GW	ACR _{HMA}	ACR _{SUB}
B777-300 ER	1233	1149	2433
A330-300 std	791	751	1434
B737-900 ER	572	572	925
B737-800	508	486	828
A320-200 std	444	425	722
CRJ1000	288	275	462
ATR-72	132	125	222
Cessna 208B Grand Caravan EX	31	30	44

Dengan berat izin yang telah ditentukan dapat dihitung nilai ACR menggunakan program ICAO-ACR. Berdasarkan hasil analisis pada **Tabel 2**, diketahui nilai ACR maksimum diperoleh berdasarkan pesawat kritis B777-300ER. Terdapat dua pendekatan dalam pemilihan nilai PCR yang akan digunakan untuk dipublikasikan yaitu berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal atau deformasi permanen lapis tanah dasar.

Berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal dan deformasi permanen lapis tanah dasar, nilai PCR area perkerasan Bandara SIM yang ditinjau (**Gambar 7**) adalah masing-masing 1149 F/D/W/T dan 2433 F/D/W/T. Diketahui bahwa nilai PCR berdasarkan kriteria retak lelah lapis beraspal menghasilkan nilai PCR yang lebih rendah daripada nilai ACR (1233). Hal ini menekankan pentingnya evaluasi menyeluruh tiap lapis perkerasan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa berdasarkan asumsi karakteristik struktur perkerasan serta input jumlah dan jenis pergerakan lalu lintas di Bandara SIM, diperoleh nilai ACR_{HMA} dan ACR_{SUB} maksimum masing-masing 1149 dan 2433 berdasarkan pesawat udara B777-300ER. Maka nilai PCR untuk area perkerasan lentur Bandara SIM yang ditinjau berdasarkan kriteria retak leleh lapis beraspal dan deformasi permanen lapis tanah dasar adalah masing-masing 1149 F/D/W/T dan 2433 F/D/W/T. Meskipun jumlah pergerakan tahunan yang relatif kecil, pesawat berbadan lebar sekelas B777-300ER dan A330-300 tetap berkontribusi signifikan terhadap umur layan dari struktur perkerasan. Dalam kasus yang ditinjau, lapis beraspal diprediksi memiliki umur layan yang lebih singkat dibandingkan dengan lapis tanah dasar sehingga penentuan nilai PCR sejatinya mempertimbangkan akumulasi kerusakan (CDF) lapis beraspal.

Saran

Proses penentuan nilai PCR dengan prinsip ME sejatinya membutuhkan investigasi mendalam mengenai karakteristik struktur perkerasan. Oleh karena itu disarankan agar input karakteristik struktur perkerasan eksisting yang digunakan idealnya diperoleh melalui serangkaian uji destruktif maupun nondestruktif agar diperoleh nilai karakteristik yang lebih mendekati kondisi lapangan. Input prediksi pergerakan lalu lintas udara sebaiknya mempertimbangkan faktor *recovery period* pasca pandemi Covid19. Penelitian ini hanya mempertimbangkan kriteria kerusakan pada lapis beraspal dan tanah dasar. Penentuan PCR di Bandara SIM sebaiknya juga mempertimbangkan kerusakan lapis pondasi. Dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai model kerusakan yang cocok digunakan untuk kondisi material perkerasan lokal di Indonesia agar memberikan perkiraan CDF yang lebih akurat. Lapis beraspal diketahui sensitif terhadap perubahan temperatur, maka dibutuhkan usaha untuk mengidentifikasi fluktuasi temperatur perkerasan di Bandara SIM agar diperoleh prediksi umur lapis beraspal yang lebih akurat.

6. REFERENSI

- [1] International Civil Aviation Organization (ICAO). *Aerodrome design manual (part 3 - pavements 2nd edition)*. ICAO Publications, 1983.
- [2] FAA. 2014. *AC 150/5335-5C Standardized method of reporting airport pavement strength - PCN*, Washington DC: US DOT.
- [3] K. J. DeBord. 1998. *Precise methods for estimating pavement classification number*. Boeing, Chicago.
- [4] A. T. Pereira. 1977. *Instruction report s-77-1 procedures for development of CBR design curves*. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- [5] Civil Aviation Safety Authority. 2021. *Strength rating of aerodrome pavements advisory circular AC 139.C-07 v1.0*. Woden, Australian Capital Territory, Australia: CASA.
- [6] International Civil Aviation Organization (ICAO). 2022. *Aerodrome design manual (part 3 - pavements 3rd edition)*, ICAO Publications.
- [7] FAA. 2014. *AC 150/5335-5D Standardized method of reporting airport pavement strength - PCR*. Washington DC: US DOT.
- [8] C.-P. Chou, S.-Y. Wang dan C.-Y. Tsai. 2007. *Methodology of applying heavy weight deflectometer for calculation of runway pavement classification number*. Transportation Research Record, no. 1990. pp. 57-6457-64.
- [9] G. Bazi, S. Saboundjian, P. Ullidtz dan R. Briggs. 2020. *Performance of an airfield flexible pavement and a novel PCN determination method*. J. Transp. Eng, vol. 146, no. 1.
- [10] Kementerian Perhubungan. 2015. *Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor : KP 93 Tahun 2015*. 13 March 2015. [Online]. Available: <https://jdih.dephub.go.id>. [Accessed 27 April 2023].
- [11] K. Atmia. 2018. *The improvement of the pavement classification number (PCN) on taxiway alpha in international airport of Supadio Pontianak West Kalimantan*. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, vol. 15, no. 4, pp. 12-16.
- [12] A. Muliasari. 2012. *Beban ijin total pesawat (Pta) dari nilai PCN (Pavement Classification Number) di Bandara Kuala Namu Medan*. Jurnal Penelitian Perhubungan Udara Wartha Ardhia, vol. 38, no. 1, pp. 29-43.
- [13] A. Muliasari dan M. H. Purnama. 2012. *The improvement of runway facility in Fatmawati Soekarno Airport Bengkulu to*

- improve air services. Jurnal Penelitian Perhubungan Udara Wartha Ardhia*, vol. 38, no. 3, pp. 311-325.
- [14] PT. Angkasa Pura II. *Bandara Kami*. [Online]. Available: https://www.angkasapura2.co.id/id/business_relation/our_airport/28-bandara-internasional-sultan-iskandar-muda. [Accessed 3 April 2023].
- [15] NSE. 2018. *Laporan Perancangan DED Overlay Runway Bandara PT. AP II (Persero) Lokasi: Bandara Sultan Iskandar Muda Aceh*. NSE, Bandung.
- [16] Kementerian Perhubungan RI. 2018. *KP 1802 Tahun 2018 Keputusan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Tentang Rencana Induk Bandar Udara Internasional Sultan iskandar Muda Provinsi Aceh*, Jakarta: KEMENHUB RI.
- [17] European Union Aviation Safety Agency. 2022. *New Method to Report Pavement Strength (ACR-PCR) Webinar*. 2022. [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137133/en>. [Accessed 3 April 2023]
- [18] FAA. 2020. *ICAO-ACR Program Version 1.3.2*. Washington D.C: US DOT.
- [19] FAA. 2021. *AC 150/5320-6G Airport Pavement Design and Evaluation*. Washington D.C: US DOT.
- [20] N. Thom. 2014. *Principles of pavement engineering 2nd edition*, London: ICE.
- [21] I. Kawa. 2017. *Development of new subgrade failure model for flexible pavements in faarfield*. US DOT - FAA, Washington DC.
- [22] S. Shen dan S. H. Carpenter. 2007. *Development of an asphalt fatigue model based on energy principles. Association of Asphalt Paving Technologists*, vol. 76, pp. 525-573.
- [23] FAA. 2022. *Federal Aviation Administration Rigid and Flexible Iterative Elastic Layer Design Program (FAARFIELD) Version 2.0*. Washington D.C: US DOT.
- [24] Dirjen Perhubungan Udara RI. 2021. *AIP Indonesia (vol ii) aerodrome chart - ICAO WITT AD 2.24-1 Banda Aceh/Sultan Iskandar Muda*, Jakarta: KEMENHUB RI.
- [25] G. A. Shafabakhsh dan E. Kashi. 2015. *Effect of aircraft wheel load and configuration on runway damages. Periodica Polytechnica Civil Engineering*. vol. 59, no. 1, pp. 85-94.