

EVALUASI DAMPAK *RUBBER DEPOSIT* DI PERKERASAN RIGID PADA RUNWAY SELATAN 07R/25L DI BANDARA

INTERNASIONAL SOEKARNO-HATTA

Muhammad Bahri Ashari Amri ¹, Fatmawati Oemar ², Tri Rachmat ³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jayabaya, Jakarta Timur,
Indonesia E-mail: xxx@gmail.com

ABSTRACT

Rubber deposit is a layer of rubber that forms on runway pavement as a result of the friction of aircraft wheels during landing and takeoff. Rubber eroded from aircraft tires will stick to the pavement and over time, can form a thick layer of rubber that can affect runway performance. As a result of the very busy number of flights at Soekarno-Hatta International Airport, this has resulted in a buildup of aircraft tire rubber residue on the runway and has become a problem for flight safety. The aim of this research is to evaluate the impact of rubber deposits on rigid pavement on the 07R/25L South Runway at Soekarno-Hatta International Airport. The aim of this research is to evaluate the impact of rubber deposits on rigid pavement on the 07R/25L South Runway at Soekarno-Hatta International Airport. The data or information used is secondary data obtained from the airfield unit in Angkasapura II Soekarno-Hatta Airport, Tangerang. The data processing method uses quantitative processing to obtain the average thickness of the rubber deposit. The results of this research are to show the height of rubber deposits resulting from aircraft movements on Runway 07L/25R, where the highest values are for Boeing 737- 800 type aircraft and Airbus A320 aircraft. This is influenced by the number of aircraft movements which tend to be dominant compared to other types of aircraft. The solution for cleaning rubber deposits is done using water blasting.

Keywords: Airport, Maintenance, Pavement, Rubber Deposit, Runway.

Pendahuluan

Pada era saat ini transportasi udara merupakan salah satu alat transportasi yang banyak dan sering sekali digunakan di berbagai belahan dunia baik negara maju maupun negara berkembang, seperti di Indonesia yang semakin meningkat menuntut masyarakat Indonesia harus berpindah dengan cepat, transportasi udara telah menjadi salah satu moda transportasi penting untuk perjalanan dengan jarak menengah dan jarak jauh. Prasarana utama yang menangani pergerakan transportasi udara akan lebih mudah dan lebih cepat untuk mendukung kelancaran pada setiap operasional dan keselamatan penerbangan perlu adanya fasilitas-fasilitas utama dan pendukung yang harus terpenuhi oleh setiap bandar udara.

Runway merupakan salah satu komponen penting dalam infrastruktur bandara yang harus dipertahankan dalam kondisi optimal agar dapat mendukung keselamatan penerbangan.

Namun, seiring dengan intensitas operasional yang tinggi, runway seringkali mengalami masalah perawatan dan pemeliharaan, salah satunya adalah terbentuknya rubber deposit pada perkerasan rigid. Karet yang terkikis dari ban pesawat akan menempel pada perkerasan dan seiring waktu, dapat membentuk lapisan karet yang tebal dan dapat mempengaruhi kinerja runway. Hal ini dapat menyebabkan berbagai masalah, seperti peningkatan kekasaran permukaan, penurunan daya cengkeram, dan perubahan karakteristik perkerasan.

Bandara Soekarno-Hatta merupakan bandara yang melayani penerbangan paling tinggi di Indonesia. Bandara Soekarno-Hatta ini merupakan bandara terbesar di Indonesia yang terletak di Tangerang, Banten. Penerbangan melalui Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta dari tahun ke tahun semakin padat oleh penambahan masuknya sejumlah maskapai penerbangan dan rute baru. Hal itu membuat bandara dengan kapasitas 43 juta penumpang pertahun tersebut padat oleh pergerakan pesawat. Berdasarkan data yang dikeluarkan PT Angkasa Pura II pergerakan (take off dan landing) mencapai sekitar 560 pesawat perhari. Jumlah itu dinilai terlalu banyak, terutama pada jam-jam sibuk pagi dan sore. Dari pergerakan pesawat tersebut dikhawatirkan pada runway Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta terjadi penumpukan karet (rubber deposit) yang cukup membahayakan maka dari itu Bandara Internasional Soekarno-Hatta sebagai bandara tersibuk membutuhkan runway yang berkinerja tinggi dan aman untuk menjamin kelancaran operasional penerbangan. Akibat jumlah penerbangan yang sangat padat pada Bandara Internasional Soekarno-Hatta, menimbulkan penumpukan sisa karet ban pesawat pada runway dan menjadi permasalahan pada keselamatan penerbangan. Tujuan dari penelitian ini untuk Evaluasi Dampak Rubber Deposit Di Perkerasan Rigid Pada Runway Selatan 07R/25L Di Bandara Internasional Soekarno-Hatta.

Tinjauan Pustaka Landasan Pacu (Runway)

Runway merupakan area persegi panjang di permukaan bandara yang kualifikasinya berbeda-beda setiap bandara yang dipergunakan untuk pendaratan dan lepas landas pesawat

udara, secara aman dan efisien dalam berbagai kondisi. Berdasarkan

Peraturan Kementrian Perhubungan Nomor 326 Tahun 2019, definisi dari landasan pacu adalah daerah dengan bentuk persegi yang telah ditentukan pada tiap bandara yang digunakan sebagai pendaratan atau lepas landas pesawat. Disamping itu, pengertian mengenai landasan pacu menurut Ilmu Penerbangan dalam sekolah penerbangan.co.id (2020), adalah daerah dengan bentuk persegi panjang yang ditentukan di daratan maupun di perairan yang difungsikan sebagai sarana pendaratan atau lepas landas pesawat udara. Landasan pacu atau dalam bahasa asing runway ini merupakan infrastruktur penting dalam suatu pembangunan bandara.

Landasan pacu atau Runway merupakan infrastruktur inti dalam suatu Aerodrome yang berfungsi sebagai tempat tinggal landas (Takeoff) dan mendarat (Landing) suatu pesawat, oleh karena itu Landasan harus dalam keadaan prima sepanjang waktu, akibat dari aktivitas Takeoff dan Landing maka akan timbul tumpukan sisa karet ban dari Landing gear pesawat yang mana tumpukan ini disebut dengan Rubber Deposit, bila terdapat tumpukan yang tebal maka pada saat proses Landing pesawat akan mengalami slip yang dikarenakan kurangnya gaya gesek antara ban pesawat dengan permukaan landasan yang dapat mengakibatkan pesawat Overrun (Robbi Cahyo Maulana, dkk 2022).

Rubber Deposit

Rubber deposit merupakan suatu lapisan yang melekat pada permukaan landasan pacu (runway) yang timbul akibat gesekan roda pesawat udara ketika aktivitas landing yang akumulasinya tinggi di permukaan landas pacu, dengan

adanya rubber deposit yang nilainya tinggi maka harus segera dihilangkan. Penumpukan karet (rubber deposit) disebabkan oleh banyaknya aktivitas pesawat udara melakukan pendaratan (landing) di runway yang mengakibatkan permukaan perkerasan runway menjadi licin. Pembersihan rubber deposit dilakukan dibersihkan secara rutin untuk mencapai kondisi ideal sesuai dengan persyaratan yang diperlukan, maka runway harus dilakukan perawatan secara teratur dan terjadwal agar tidak terjadi adanya penumpukan karet.

Permukaan runway memiliki 2 sifat fisik yang menghasilkan skid resistance (tahanan gelincir) yaitu, mikrotekstur dan makrotekstur. Mikrotekstur berhubungan dengan sifat ketahanan agregat terhadap keausan. Mikrotekstur berskala 0 – 0,2 mm. Ukuran mikrotekstur bervariasi dari tajam sampai licin. Mikrotekstur sangat tergantung dari sifat kekasaran permukaan alami agregat. Berkurangnya kekesatan mikrotekstur dikarenakan oleh keausan mekanis dari agregat dan permukaan yang kontak berulang dengan ban pesawat. Makrotekstur terdiri dari kekasaran permukaan perkerasan dan rongga antara agregat. Makrotekstur berskala 0,2 – 3 mm. Makrotekstur berperan penting dalam menunjang drainase air hujan di permukaan jalan dan sebagai cengkaman terhadap roda. Makrotekstur berkurang diakibatkan oleh void antara agregat dan aspal atau pengikat di permukaan perkerasan diisi oleh kontaminan, seperti rubber deposit. Penumpukan ban karet pada permukaan aspal ini baik dalam segi mikrotekstur ataupun makrotekstur berpotensi untuk meminimalisir terjadinya skid resistance. Hal ini tidak menjadi masalah saat cuaca kering, tetapi sangat berbahaya saat pesawat mendarat di landasan pacu yang

basah. Oleh karena itu, menjaga skid resistance sangat penting untuk keselamatan penerbangan, untuk meminimalisir adanya rubber pada runway, dilakukan maintenance atau perawatan secara berkala pada runway untuk meminimalkan terjadinya kecelakaan pada pesawat. Pelaksanaan perawatan rubber deposit di bandara Internasional Soekarno- Hatta sendiri dilakukan sesuai dengan peraturan Kementrian Perhubungan Nomor 94 Tahun 2015, pelaksanaan pengecekan dan perawatan dari rubber deposit dilaksanakan setiap 1 minggu sekali apabila penerbangan diatas 210 pergerakan pesawat.

Terdapat identifikasi faktor- faktor yang memicu penebalan rubber deposit pada landasan pacu, yaitu sebagai berikut:

1. Pergerakan pesawat. Kegiatan tersebut dapat dikatakan sebagai faktor rubber deposit karena pergerakan pesawat yang terjadi secara terus menerus membuat ban pesawat bergesekan dengan permukaan. Jika pergerakan semakin banyak sebanding juga dengan penumpukan ban karet yang dihasilkan.
2. Pergesekan roda pesawat. Gaya gesek yang terjadi antara roda pesawat akan membuat permukaan landasan pacu semakin halus karena ditutupi oleh ban karet yang menempel di permukaan aspal.
3. Cuaca. Pada saat musim penghujan rubber deposit ini akan membuat pesawat tergelincir pada saat landing. Hal tersebut dapat terjadi karena sifat dari ban karet yaitu hydroplaning. Jika rubber deposit ini tergenang air pada saat musim penghujan, landasan akan licin dan ban pesawat tidak bekerja secara maksimal.
4. Hanya ditinjau dari aspek lokasi touch down yang sering di landas oleh ban

pesawat.

Mempertahankan kondisi skid resistance landasan pacu sangat penting untuk keselamatan pesawat. Penggunaan landasan pacu beralur memberikan tingkat peningkatan keamanan melalui peningkatan makrotekstur perkerasan, yang mengurangi potensi untuk pesawat tergelincir saat landasan pacu basah. Untuk mempertahankan karakteristik ini, alur permukaan harus tetap terbuka.

Terdapat empat metode untuk melakukan pembersihan area landasan pacu yaitu sebagai berikut:

1. Metode High Pressure Water, metode ini dilakukan dengan cara menyemprotkan air ke titik yang diinginkan sepanjang landasan pacu. Pembersihan ini menggunakan spesifikasi high pressure water jet dan ultrahigh pressure water cutting dimana tekanan yang diberikan sangat tinggi sehingga mampu mengangkat ban karet yang menempel pada permukaan.
2. Metode Chemical removal, metode ini menggunakan senyawa kimia untuk mengangkat sisa sisa ban pesawat. Perlakuan metode ini dilakukan dengan meletakkan senyawa kimia pada titik yang dibersihkan kemudian digosok menggunakan sikat atau alat semacamnya. Kemudian untuk sisi pembersihannya akan si semprot menggunakan air mengalir bertekanan tinggi. Proses ini juga terkenal dengan metode detergent atau foam based.
3. Metode Shotblasting, metode ini dilakukan dengan cara menembakkan partikel ke dalam rubber deposit. Metode ini tidak hanya menembakkan partikel saja, namun membutuhkan bantuan alat vakum untuk menyerap serpihan serpihan ban karet pesawat.
4. Metode Mechanical removal, metode

ini sangat berbeda dengan tiga metode lainnya karena menggunakan bantuan alat mekanis. Dalam proses pelaksanaannya pengangkatan ban karet menggunakan pisau atau alat mekanis lainnya. Kegiatan yang tergolong dalam metode ini adalah grinding, milling dan wirebriste brushing.

Sebuah studi dari landasan alur kerusakan menemukan bahwa Kerusakan alur permukaan diakibatkan oleh keausan, penutupan alur, dan rubber deposit.

Ada empat metode untuk pengangkatan karet (rubber deposit removal) pada runway, yaitu:

1. Waterblasting. Metode ini adalah proses menghilangkan karet dengan menggunakan air yang dipompa melalui alat rotary di beberapa tekanan yang ditentukan. Unit bergerak perlahan di sepanjang permukaan runway yang akan dibersihkan. Spesifikasi yang membedakan antara high pressure (2.000 psi sampai 15.000 psi) dan ultra-high pressure (tekanan yang melebihi 15.000 psi sampai 40.000 psi). Jenis proses ini disebut juga high- pressure water-jet dan ultra-high-pressure watercutting.
2. Chemical removal. Metode ini adalah proses yang tergantung penggunaan beberapa senyawa kimia untuk melunakan rubber deposit dan menempatkannya dalam bentuk yang dapat dipisahkan dengan menggunakan sikat, sapu, scrappers, atau alat lainnya. Serpihan-serpihan dan residu di runway dibersihkan menggunakan air bertekanan tinggi. Tergantung pada peraturan lingkungan di daerah tertentu. Proses metode ini juga disebut metode pengangkatan detergent atau foam- based.
3. Shotblasting. Metode ini adalah proses

yang bergantung pada mesin yang mendorong/menembakkan beberapa bentuk partikel abrasive ke permukaan runway dan melepaskan/melempar rubber deposit. Alat shotblasting dibedakan berdasarkan property lebar pola dari sekitar 6inch (15,2 cm) sampai 6 feet (1,8 m). Proses ini melibatkan system vacuums/menghisap serpihan-serpihan, memisahkan partikal-partikal abrasive untuk daur ulang. Dan menyimpan hasil serpihan-serpihan tersebut untuk dibuang. Proses ini juga disebut high- velocity impact removal dan shot- peening.

4. Mechanical removal. Metode ini adalah proses yang didefinisikan sebagai bentuk rubber deposit yang dilakukan oleh mekanis, yang tidak dicakup dalam tiga metode sebelumnya. Yang termasuk dalam metode ini adalah grinding, milling, wire-bristle brushing, mengangkat menggunakan pisau dan alat mekanis lainnya yang digunakan untuk mengangkat karet.

Kekesatan Landasan Pacu (Runway)

Kekesatan adalah kemampuan dari beton, mulai basah hingga membentuk suatu yang padat dan keras dengan memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga meminimalisir terjadinya kecelakaan kendaraan yaitu slip atau tergelincir. Tingkat kekesatan suatu beton akan bergantung pada kondisi cuaca, perkerasan, material ban serta kecepatan. Namun kondisi kekesatan tersebut akan mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Gesekan yang terjadi antara permukaan beton dengan roda pesawat akan menyebabkan penumpukan material bekas ban karet pesawat. Kondisi dapat menyebabkan halusnya permukaan beton sehingga ketika

pesawat melakukan landing dapat tergelincir. Untuk mengatasi hal tersebut, pemeliharaan harus di lakukan secara rutin dan terus menerus untuk meminimalkan kecelekaan kerja. Menurut Kementrian Perhubungan, klasifikasi tingkat kekesatan permukaan perkerasan landasan pacu memiliki nilai standar sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Nilai Pengujian Kekesatan

Jenis Alat Uji		<i>Mu-Meter</i>	<i>SkiddoMeter</i>
65 km/h (40 mph)	Minimal	0,43	0,50
	Perawatan	0,52	0,60
	Konstruksi baru	0,72	0,82
95 km/h (60 mph)	Minimal	0,26	0,34
	Perawatan	0,34	0,47
	Konstruksi baru	0,66	0,74

(Sumber: KP 94, 2015)

Metode

Analisa Kebutuhan Data

Data yang dibutuhkan bersumber dari data hasil obeservasi lapangan yang dijadikan sebagai data primer. Pada pelaksanaan pengambilan data, dilakukan dengan cara ikut serta dalam kegiatan perawatan perkerasan permukaan Runway 07R/25L di Bandara Internasional Soekarno-Hatta. Data yang didapatkan berupa data dokumentasi lapangan mengenai rubber deposit serta langkah penanganan rubber deposit (rubber removal). Selain data primer, terdapat juga data sekunder yang didapatkan dari PT. Angkasa Pura II yaitu data pergerakan pesawat, data peraturan yang berlaku, dan data spesifikasi pesawat. Data-data yang telah dikumpulkan akan dilakukan pengolahan data dengan cara kuantitatif untuk memperoleh nilai ketebalan rata- rata rubber deposit pada runway selatan Bandara Internasional Soekarno-Hatta.



Lokasi penelitian dilaksanakan pada Runway 07R/25L di Bandara Internasional Soekarno-Hatta, terletak di sisi selatan bandara dan melayani lebih dari 500-1000 penerbangan perharinya. Berikut data umum pada Runway 07R/25L:

Nama Perkerasan :Runway 07R/25L Jenis Perkerasan :Rigid Pavement Refrensi suhu : 27°C

Nama Bandar Udara: Bandar Udara Internasional Soekarno - Hatta

Nama Penyelenggara : PT Angkasa Pura II (Persero)

Lokasi : Tangerang, Banten Pesawat Udara Terkritis: B 777-300ER

Metode Pengambilan Data

Data yang diperoleh untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

Pada penelitian ini banyak mengambil dari refrensi kepustakaan atau penelitian terdahulu yang selaras ataupun sejalan dengan penelitian penulis yang digunakan sebagai bahan referensi serta untuk mendapatkan teori- teori yang mendasari pembahasan penelitian ini.

2. Observasi Lapangan

Observasi langsung kelapangan dilakukan untuk memperoleh data sesuai dengan apa yang di butuhkan atau diperlukan untuk menunjang penulisan penelitian ini. Pengamatan atau observasi pekerjaan perawatan ini dilakukan secara langsung di lokasi runway 07R/25L. Berikut adalah data-data yang memudahkan dalam analisis penelitian ini.

a. Data pergerakan pesawat pada Runway 07R/25L

Sumber: PT. Angkasa Pura II (PERSERO).

Tujuan: Untuk mengetahui jumlah pergerakan pesawat pada Runway 07R/25L. Jumlah pergerakan pesawat berpengaruh pada ketebalan rubber deposit pada runway.

b. Data peraturan-peraturan yang berlaku di Bandara Internasional

Soekarno-Hatta Sumber: Kementrian Perhubungan Udara.

Tujuan: Untuk mengetahui standar-standar yang berlaku pada Bandara Internasional Soekarno-Hatta mengenai perawatan dan spesifikasi perkerasan yang digunakan.

c. Dokumentasi perawatan rubber deposit

Sumber: Dokumentasi pribadi pada saat observasi langsung di pekerjaan perawatan pemeliharaan runway.

Tujuan : Untuk mengetahui secara langsung rubber deposit. Dokumen perawatan ini dijadikan pertimbangan untuk mencari solusi meminimalkan rubber deposit.

Perancangan Pengukuran dan Perhitungan Tipe Pergerakan Pesawat

Metode pengukuran untuk menentukan skid resistance permukaan perkerasan yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Sand Patch Method

Sand patch method merupakan metode pengukuran rata-rata kedalaman tekstur secara volumetric menggunakan pasir dengan ketentuan tertentu. Dalam metode ini, pasir didalam tabung di tuangkan ke permukaan runway lalu diratakan membentuk lingkaran, sehingga mengisi ruang kosong pada permukaan terisi oleh pasir. Kemudian diameter lingkaran pasir tersebut diukur pada empat sumbu dan dihitung rata-rata diameter tersebut. Hasil dari pengukuran ini dinamakan dengan rata-rata kedalaman tekstur atau Mean Texture Depth (MTD).



Gambar 2. Patch Metod (Sumber: Yaacob dkk, 2014)

2. Mu-meter

Menetapkan cara pengukuran kekesatan (the side force friction) permukaan perkerasan menggunakan alat yang biasanya disebut Mu-meter. Mu-meter adalah alat yang digunakan untuk menentukan kekesatan permukaan perkerasan, dalam satuan MuN, dan pada saat pengujian harus ditarik dengan kendaraan penarik yang dilengkapi tangki air.

Cara uji ini merupakan suatu pengukuran kekesatan, yang dilakukan dengan menarik alat Mu-meter pada kecepatan tetap pada sudut arah gerakan tertentu di atas permukaan perkerasan dalam keadaan basah. Alatnya terdiri atas dua roda penguji dan dapat berputar bebas, yang dibebani dengan beban statis. Pencatat dalam alat ini merekam grafik kekesatan yang menerus untuk seluruh panjang permukaan yang diuji, dan pada segmen tertentu mungkin diperoleh grafik yang merata. Ban penguji yang terpasang pada alat Mu-meter diletakkan dalam posisi uji. Alat Mu-meter dioperasikan pada kecepatan tertentu sesuai butir 6 (65 km/±1,5 jam). Air disiramkan ke atas permukaan yang ada di depan ban kendaraan penguji pada awal permukaan perkerasan yang sudah ditandai. Gesekan menyamping atau gaya friksi antara ban penguji dengan permukaan perkerasan dicatat pada sebuah kertas grafik. Kecepatan kendaraan penguji dicatat dengan bantuan instrumen yang terdapat dalam alat tersebut.

Kekesatan ditentukan berdasarkan analisis data dari rekaman yang ada pada kertas grafik dalam kotak pencatat, dan dilaporkan sebagai nilai Mu- Number (MuN). Gambar 2.13 merupakan gambaran alat Mu-meter (SNI, 2008).



Gambar 3. Alat Mu-meter

Dalam menghitung perkiraan tebal rubber deposit pada permukaan Runway 07R/25L, dibutuhkan data pergerakan pesawat yang takeoff atau landing pada runway. Untuk perhitungan perkiraan rubber deposit menggunakan data yang berasal dari PT. Angkasa Pura II pada tahun 2023. Setelah data-data lengkap, selanjutnya yaitu menghitung Panjang pendaratan dengan rumus metode segmen dimana:

1. S_1 : Jarak yang dilalui mulai dari ambang pendaratan (landing threshold) sampai dengan kondisi roda utama pesawat menyentuh landasan pacu (main gear touchdown). Dengan kata lain yaitu jarak ke titik titik rata rata, dikoreksi untuk lereng menurun dan komponen tailwind jika ada:
2. S_2 : jarak yang dibutuhkan untuk transisi yang dilihat dari deret main gear untuk membangun konfigurasi pengereman yang stabil. Perhitungan jarak transisi dihitung dengan waktu transisi yang diasumsikan (empiris) yaitu sebesar 10 detik pada kecepatan ground rata-rata. Untuk rumus mencari S_2 sebagai berikut:

$$S_2 = 5 \times (V_{th} - 10) \dots \dots \dots (1)$$

3. S_3 : Jarak yang dibutuhkan sebagai upaya pengereman normal sampai dengan kecepatan turn off. Perhitungan jarak pengereman sebagai berikut:

$$S_3 = \frac{(V_{th} - 15)^2}{8a} \dots \dots \dots (2)$$

4. Selanjutnya mencari dari panjang pendaratan yang dibutuhkan pesawat untuk landing. Dengan cara menjumlahkan nilai dari S_2 dan S_3 . Karna nilai S_2 adalah jarak yang digunakan pesawat dari touchdown untuk melakukan pengereman dengan sayap, sedangkan S_3 adalah jarak yang digunakan pesawat saat melakukan pengereman normal. Panjang pendaratan Pesawat = $S_2 + S_3$

Untuk mencari tinggi dari touchdown, terlebih dahulu harus mengetahui nilai dari segitiga rubber deposit karena dalam 1 pergerakan pesawat akan menghasilkan sebesar 700 gram rubber deposit (Douglass, 2008).

$$\text{Tinggi pada titik } \textit{touchdown} = \frac{\text{Luasan segitiga rubber deposit}}{\frac{1}{2} \times \text{Panjang jarak Pendaratan}} \dots(4)$$

Selanjutnya untuk mencari nilai luasan segitiga rubber deposit digunakan rumus:

$$\text{Luasan segitiga rubber deposit} = \frac{\text{Berat Rubber deposit}}{\text{Lebar roda x berat jenis karet}} \dots\dots(5)$$

Setelah mendapatkan nilai dari luasan segitiga rubber deposit, maka selanjutnya mencari nilai dari tinggi (tebal) pada titik touchdown yaitu :

$$\text{Tinggi pada titik } \textit{touchdown} = \frac{\text{Luasan segitiga rubber deposit}}{\frac{1}{2} \times \text{Panjang Pendaratan}} \dots\dots(6)$$

Untuk mencari ketinggian rubber deposit dari setiap tipe pesawat pada 1 hari / 1 Minggu / 1 Bulan dapat dihitung dengan cara: Ketinggian rubber 1 hari/1 Minggu/1 Bulan = tinggi pada titik touchdown x pergerakan pesawat 1 hari/1 Minggu/1 Bulan(7)

Hasil dan Pembahasan

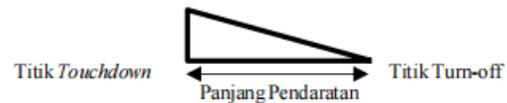
Pengidentifikasi Panjang pendaratan dilakukan untuk mengukur panjang pendaratan pesawat pada runway dari ujung ambang pendaratan pesawat sampai touchdown kemudian dari touchdown sampai titik pengurangan kecepatan pesawat (dimana kecepatan pesawat cuma 20 knot atau kecepatan pesawat yang diperbolehkan untuk exit taxiway). Untuk mencari panjang pendaratan roda pesawat digunakan metode tiga segmen. Metode ini digunakan digunakan untuk mengukur panjang pendaratan pesawat pada runway dari ujung ambang pendaratan pesawat sampai touchdowkemudian dari touchdown sampai

titik pengurangan kecepatan pesawat.

Tabel 2. Perhitungan Area Jejak Roda Pesawat

Jenis Type Pesawat	type roda pesawat	Group pesawat	Corre ction Slope	Corre ction Tailwind	Deceler ation (a) (knot)	Vth	Vtd = (Vth-5 kt)	Vta = (Vth-15kt)	Vex	S1 (m)	S2 (m)	S3 (m)	Panjang landing (S2+S3)
Boeing 737-300	Dual wheel	C	0,07%	0	1.5	132	127	117	20	450	610	1107.42	1717.42
Boeing 737-500	Dual wheel	C	0,07%	0	1.5	128	123	113	20	450	590	1030.75	1620.75
Boeing 737-800	Dual wheel	D	0,07%	0	1.5	147	142	132	20	450	685	1418.67	2103.67
Boeing 737-900	Dual wheel	D	0,07%	0	1.5	150	145	135	20	450	700	1485.42	2185.42
Airbus A320	Dual wheel	C	0,07%	0	1.5	137	132	122	20	450	635	1207.00	1842.00
Airbus A330-300	Dual tandem	C	0,07%	0	1.5	140	135	125	20	450	650	1268.75	1918.75
Airbus A330-300	Dual tandem	C	0,07%	0	1.5	140	135	125	20	450	650	1268.75	1918.75
Boeing 777-300	Tripel tandem	C	0,07%	0	1.5	160	155	145	20	450	750	1718.75	2468.75

Perhitungan ketebalan rubber deposit dilakukan untuk menganalisis distribusi ketebalan rubber deposit sesuai dengan tipe dan variasi pesawat yang berada atau beroperasi di bandara Soekarno-Hatta. Pada gambar menunjukkan gambar segitiga perubahan kecepatan pada saat touchdown sampai ke titik turn-off atau kecepatan pesawat yang diperbolehkan masuk ke exit taxiway. Ilustrasi segitiga dibuat dengan asumsi bahwa penumpukan rubber deposit terbesar adalah pada saat touchdown yang kemudian berkurang sesuai dengan penurunan kecepatan pesawat tersebut.



Gambar 4. Ilustrasi pengurangan tebal rubber deposit sepanjang panjang pendaratan

Dari perhitungan di sebelumnya didapatkan panjang pendaratan pesawat. selanjutnya dicari tinggi atau tebal rubber deposit pada titik touchdown. Dengan menggunakan rumus segitiga yaitu :

$$\text{Tinggi pada Titik } \textit{Touch Down} = \frac{\text{Luasan Segitiga Rubber Deposit}}{\frac{1}{2} \times \text{Panjang Pendaratan}}$$

Dikarenakan yang diketahui hanya panjang pendaratan, maka dicari terlebih dahulu adalah luasan segitiga rubber deposit. Untuk mencari luasan segitiga rubber deposit tersebut dapat digunakan rumusan berat jenis karet roda pesawat. yaitu:

$$\text{Berat Jenis Karet} = \frac{\text{Berat Rubber Deposit}}{\text{Volume Rubber Deposit}}$$

$$\text{Berat Jenis Karet} = \frac{\text{Berat Rubber Deposit}}{\text{Lebar Roda} \times \text{Luasan Segitiga Rubber Deposit}}$$

$$\text{Luasan Segitiga Rubber Deposit} = \frac{\text{Berat Rubber Deposit}}{\text{Lebar Roda} \times \text{Berat Jenis Karet}}$$

Dari penelitian yang dilakukan Douglass, (2008) sebelumnya yang menyatakan bahwa rata-rata pada setiap proses pendaratan pesawat akan meninggalkan rubber deposit sebanyak 700 gram untuk 1 jenis pesawat. Sehingga berat rubber deposit yang digunakan dalam perhitungan ini adalah 700 gr. Hasil perhitungan luasan segitiga rubber deposit untuk setiap jenis pesawat dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3. Hasil perhitungan luasan segitiga rubber deposit setiap jenis pesawat

Type Pesawat	Type roda	Lebar roda (m)	Berat Jenis Karet (gr/m ³)	Luasan segitiga rubber deposit (m ²)
Boeing 737-300	Dual wheel	0.37	481,000	0.00098785
Boeing 737-500	Dual wheel	0.37	481,000	0.00098785
Boeing 737-800	Dual wheel	0.42	481,000	0.00086811
Boeing 737-900	Dual wheel	0.42	481,000	0.00086811
Boeing 777-300	Tripel tandem	0.65	481,000	0.00018657
Airbus A320	Dual wheel	0.41	481,000	0.00089524
Airbus A330-300	Dual tandem	0.53	481,000	0.00034104

Kemudian dari hasil perhitungan segitiga rubber deposit yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya, selanjutnya mencari tinggi (tebal) pada titik touchdown, untuk hasil perhitungan Tinggi (tebal) rubber deposit pada titik touchdown untuk setiap jenis pesawat dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tinggi (tebal) rubber deposit pada titik touchdown untuk setiap jenis pesawat

Type Pesawat	Panjang Pendaratan (m)	Luasan Segitiga rubber deposit (m ²)	Tinggi (Tebal) Rubber deposit	Tinggi (Tebal) Rubber deposit
			Pada Titik Touchdown (m)	Pada Titik Touchdown (mm)
Boeing 737-300	1107.42	0.00098785	0.00098785	0.00115
Boeing 737-500	1030.75	0.00098785	0.00098785	0.00122
Boeing 737-800	1418.67	0.00086811	0.00086811	0.00083
Boeing 737-900	1485.42	0.00086811	0.00086811	0.00079
Boeing 777-300	2468.75	0.00018657	0.00018657	0.00010
Airbus A320	1207.00	0.00089524	0.00089524	0.00097
Airbus A330-300	1268.75	0.00034104	0.00034104	0.00036

Dari hasil perhitungan ketebalan rubber deposit selanjutnya adalah mencari persentase rata-rata distribusi pergerakan pesawat setiap ujung runway (07R & 25L) dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Persentase Pergerakan Pesawat Pada Runway 07R & Runway 25L

Tahun	25L	07R	Total	Persentase	
				R10	R28
2021	460018	94221	554239	83%	17%
2022	553883	113446	667329	83%	17%
Rata-rata persentase pergerakan pesawat				83%	17%

Selanjutnya adalah mencari distribusi pergerakan pesawat pada tahun 2021 dan 2022 untuk masing - masing arah runway 07R & 25L selama 1 hari, 1 minggu dan 1 bulan. Dalam tabel dibawah ini akan menunjukkan hasil kesimpulan perhitungan distribusi pergerakan pesawat pada tahun 2021 dan 2022 untuk masing-masing arah runway 07R & runway 25L.

Tabel 6. Tabel Perhitungan Distribusi Untuk Masing-Masing Pesawat Pada Kedua Ujung Runway

Type Pesawat	Jumlah Pergerakan Pesawat Pada Tahun 2021	Jumlah Pergerakan Pesawat Pada Tahun 2022	Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2021 Pada Arah		Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2022 Pada Arah	
			25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)
Boeing 737-300	8505	10952	7059	1446	9090	1862
Boeing 737-500	10126	12243	8405	1721	10162	2081
Boeing 737-800	231094	276659	191808	39286	229627	47032
Boeing 737-900	79456	80469	65948	13508	66789	13680
Boeing 777-300	20155	25917	16729	3426	21511	4406
Airbus A320	182523	225080	151494	31029	186816	38264
Airbus A330-300	12617	20149	10472	2145	17221	2928

Tabel 7. Perhitungan Distribusi Pergerakan Pesawat Dalam 1 Hari pada Tahun 2021-2022

Type Pesawat	Tinggi rubber deposit pada Titik touchdown (mm)	Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2021 dalam 1 Hari Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2021 dalam 1 hari Pada Arah		Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2022 dalam 1 Hari Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2022 dalam 1 Hari Pada Arah	
		25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)
Boeing 737-300	0.00115	19	4	0.021785	0.004602	25	5	0.02875	0.00575
Boeing 737-500	0.00122	23	4	0.028067	0.004886	28	6	0.03416	0.00732
Boeing 737-800	0.00083	525	108	0.435757	0.089643	437	89	0.36271	0.07387
Boeing 737-900	0.00079	181	37	0.142998	0.029233	183	37	0.14457	0.02923
Boeing 777-300	0.00010	46	9	0.004666	0.000955	59	12	0.00599	0.00122
Airbus A320	0.00097	415	85	0.402551	0.082453	512	105	0.49664	0.10185
Airbus A330-300	0.00036	29	6	0.010444	0.002164	46	9	0.01656	0.00324

Tabel 8. Perhitungan Distribusi Pergerakan Pesawat Dalam 1 Minggu pada Tahun 2021-2022

Type Pesawat	Tinggi rubber deposit pada Titik touchdown (mm)	Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2021 dalam 1 Minggu Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2021 dalam 1 Minggu Pada Arah		Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2022 dalam 1 Minggu Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2022 dalam 1 Minggu Pada Arah	
		25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)
Boeing 737-300	0.00115	136	28	0.1564	0.0322	181	37	0.20815	0.04255
Boeing 737-500	0.00122	162	33	0.19764	0.04026	195	40	0.2379	0.0488
Boeing 737-800	0.00083	3689	755	3.06287	0.62665	3689	755	3.06187	0.62665
Boeing 737-900	0.00079	1268	260	1.00172	0.2054	1268	260	1.00172	0.2054
Boeing 777-300	0.00010	322	66	0.0322	0.0066	413	85	0.0413	0.0085
Airbus A320	0.00097	2913	597	2.82561	0.57909	3592	736	3.48424	0.71392
Airbus A330-300	0.00036	202	41	0.07272	0.01476	321	66	0.11556	0.02376

Tabel 9. Perhitungan Distribusi Pergerakan Pesawat Dalam 1 Bulan pada Tahun 2021-2022

Type Pesawat	Tinggi rubber deposit pada Titik touchdown (mm)	Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2021 dalam 1 Bulan Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2021 dalam 1 Bulan Pada Arah		Jumlah Pergerakan Aircraft Pada Tahun 2022 dalam 1 Bulan Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2022 dalam 1 Bulan Pada Arah	
		25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)
Boeing 737-300	0.00115	544	112	0.6256	0.1288	724	148	0.8326	0.1702
Boeing 737-500	0.00122	648	132	0.79056	0.16104	780	160	0.9526	0.1952
Boeing 737-800	0.00083	14756	3020	12.24748	2.5066	14756	3020	12.24748	2.5066
Boeing 737-900	0.00079	5072	1040	4.00688	0.8216	5072	1040	4.00688	0.8216
Boeing 777-300	0.00010	1288	264	0.1288	0.0264	1652	340	0.1652	0.0340
Airbus A320	0.00097	11652	2388	11.30244	2.31636	14368	2944	13.93696	2.85568
Airbus A330-300	0.00036	808	164	0.29088	0.05904	1284	264	0.46224	0.09504

Dari hasil perhitungan pada tabel diatas, maka selanjutnya adalah mencari nilai tebal overlap pada runway 07R & 25L. Dimana Hasil perhitungan tabel rubber deposit pada 1 hari, 1 minggu dan 1 bulan pada tahun 2021-2022 ditambahkan sesuai posisi overlap yang terjadi. Terdapat 2 overlap yang terjadi pada runway pada saat mendarat. Oleh karena itu dilakukan perhitungan setiap overlap yang terjadi pada runway. Untuk overlap I adalah jumlah total tebal rubber deposit Boeing 737-300, 737-500, 737-800, 737-900 dan Airbus A320. Sedangkan overlap II adalah jumlah total tebal rubber deposit Airbus Boeing 777-300, A320-200 dan A330-300. Tabel dibawah ini menunjukkan jumlah total overlap I dan II pada tahun 2021-2022.

Tabel 11. Hasil Perhitungan Total Tebal Rubber deposit untuk Overlap II pada Tahun 2021-2022

Type Pesawat	Total tebal rubber deposit tahun 2021 per 1 Hari Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2021 per 1 Minggu Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2021 per 1 Bulan Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2022 per 1 Minggu Pada Arah		Total tebal rubber deposit tahun 2022 per 1 Bulan Pada Arah	
	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)	25L (83%)	07R (17%)
Airbus A320	0.402551	0.082453	2.82561	0.57909	11.30244	2.31636	0.402551	0.082453	3.48424	0.71392
Airbus A330-300	0.010444	0.002164	0.07272	0.01476	0.29088	0.05904	0.010444	0.002164	0.11556	0.02376
Boeing 777-300	0.004666	0.000955	0.0322	0.0066	0.1288	0.0264	0.004666	0.000955	0.0413	0.0085
Σ	0.417661	0.085572	2.93053	0.60043	11.72212	2.4018	0.417661	0.085572	3.6411	0.74618

Berdasarkan tabel diatas tipe pesawat yang paling berpengaruh terhadap ketebalan rubber deposit pada tahun 2021-2022 adalah pesawat tipe Airbus A320. Dikarenakan bahwa jenis pesawat ini paling banyak frekuensi pergerakan dibandingkan dengan tipe pesawat lainnya pada overlap II tiap tahunnya.

Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dimana posisi jejak roda pesawat overlap I terletak di sekitar ± 3 meter dari garis tengah runway. Sedangkan posisi roda pesawat overlap II terletak di sekitar ± 6 meter dari garis tengah runway. Panjang pendaratan pesawat yang didapatkan dalam metode tiga segmen adalah Boeing 737 – 300 adalah 1717,43 m, Boeing 73 – 500 adalah 1620,75m, Boeing 737 – 800 adalah 2103,67 m, Boeing 737 – 900 adalah 2185,4 m, Airbus A320 adalah 1842 m, Airbus A330 –200 adalah 1918,75m, Airbus A330 –300 adalah 1918,75 m dan Boeing 777-300 adalah 2468,75 m.
2. Tebal overlap yang terjadi setiap pergerakan pesawat selama 1 minggu pada tahun 2021 & 2022, dapat disimpulkan data hasil perhitungan tebal rubber deposit pada tahun 2021 tebal rubber deposit yang tertinggal dalam 1 minggu untuk runway 25L pada 3 meter dari centerline adalah 7,2442 mm dan 6 meter dari centerline adalah 2,9305 mm, pada runway 07R pada 3 meter dari centerline adalah 1,4836 mm dan 6 meter dari centerline adalah 0,6004 mm. Pada tahun 2022 tebal rubber deposit 1 minggu untuk runway 25L 3 meter dari centerline adalah 7,9938 mm dan 6 meter dari centerline adalah 3,6411 mm, runway 07R pada 3 meter dari centerline adalah 1,6364 mm dan 6 meter dari centerline adalah 0,7461 mm.

3. Metode untuk pembersihan karet (Rubber deposit removal) pada runway yaitu:
 - a. Waterblasting, metode ini adalah proses menghilangkan karet dengan menggunakan air yang dipompa melalui alat rotary di beberapa tekanan yang ditentukan. Unit bergerak perlahan di sepanjang permukaan runway yang akan dibersihkan.
 - b. Chemical removal. Metode ini adalah proses yang tergantung penggunaan beberapa senyawa kimia untuk melunakan rubber deposit dan menemukannya dalam bentuk yang dapat dipisahkan dengan menggunakan sikat, sapu, scrappers, atau alat lainnya. Serpihan-serpihan dan residu di runway dibersihkan menggunakan air bertekanan tinggi. Tergantung pada peraturan lingkungan di daerah tertentu.

Daftar Pustaka

Ahyudanari, Ervina. (2014) "Identification and modelling the Effect of Jet Engine Exhaust on Airport Pavement Performance" Ph.D Thesis, Universitas Teknologi Petronas.

Akhmad, Dharma., Arianto dan Ervina, Ahyudanari. 2019. Perkiraan Akumulasi Rubber deposit Berdasarkan Variasi dan Frekuensi Pergerakan Pesawat di Bandara Internasional Juanda. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 17(2): 9-14.

Anshari, Agung Tri. (2016) "Analisis Penentuan Area Kerusakan Akibat Beban Intensitas Tinggi Dan Panas Mesin Jet Pada Runway Juanda". Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

D. Gransberg, Douglass. (2008) "Impact of Airport Rubber Removal Techniques on Ruway". Aircraft Cooperative Research Program (ACRP) Synthesis 11, Washington D.C.

Departemen Perhubungan. (2015). Peraturan KP No.94 Tahun 2015 tentang Pedoman Teknis Operasional Peraturan

Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 139-23 (Advisory Circular Casr Part 139-23)

Pedoman Program Pemeliharaan Konstruksi Perkerasan Bandar Udara (Pavement Management System).

Departemen Perhubungan. (2019). Peraturan KP No.326 Tahun 2019 tentang Standar Teknis Dan Operasional Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil. Jakarta: Kementerian Perhubungan.

FAA – U.S. Departement of Transportation (1997) "Measrument, Construction, and Maintenance of SkidResistant Airport Pavement Surfaces".

Freitas and P. Pereira, E. (2008). "Analysis of Test Methods for Texture Depth Evaluation Applied in Portugal". Department of Civil Engineering, University of Minho, Portugal.

Horonjeff, Robert dan Francis X. McKelvey (2010) "Planning and Design of Airports, Fifth Edition". McGraw-Hill Companies, Inc., United State of America.

I. Hanson and Brian D. Prowell, Douglas (2004) "Evaluation of Circular Texture Meter for Measuring Surface Texture of Pavement". NCAT Report 04-05. National Center for Asphalt Technology Auburn University, Auburn, Alabama. ICAO Doc 9157 (2005) "Aerodrome Design Manual – Part 2: Taxiways, Aprons and Holding Bays"

ISO 13473-1:1997. Characterization of Pavement Texture by Use of Surface Profiles – Part 1: Determination of Mean Profile Depth

Popi, Dwi., Saputri dan Gallis, Nawang., Ginusti. 2022. Analisis Proses Rubber Deposit Removal Pada Runway Bandar Udara Fatmawati Soekarno Bengkulu Terhadap Keselamatan Penerbangan. *Jurnal Penelitian Politeknik Penerbangan Surabaya*, 7(1): 12-23.

Reza, Rizki., Kurnia., Bachdar., Grace, Y. Malingkas., & Huibert, Tarore. 2020.

- Analisis Risiko Pelaksanaan Perawatan Landas Pacu Bandar Udara Sam Ratulangi Manado. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 10(1): 21-34.
- Rian, Riandi., Nidya, Novalia., & Albert, Kurniawan., Purnomo. 2022. Evaluasi Pemeliharaan Runway Di Bandar Udara Husein Sastranegara Bandung. *Jurnal Deformasi*, 7(2): 193-203.
- Robbi, Cahyo., Maulana., Susilo, Adi.,Purwantoro., Suyono,Thamrin., & Abdi, Manab.,Idris. 2022. Dampak Penumpukan Rubber Deposit di Runway Terhadap Keselamatan Penerbangan di Bandar Udara Internasional Halim Perdanakusuma Jakarta. *Jurnal Kewarganegaraan*, 6(2): 2817-2828.
- Seno, R. Haryo Triharso. (2015) “Evaluasi Kekuatan Perkerasan Sisi Udara (Runway, Taxiway, Apron) Bandara Juanda Dengan Metode Perbandingan ACNPCN”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Yahya, Rizky., Shahrial., Lely,Hendarti., & Silvia, Yulita., Ratih. Pengaruh Pembersihan Rubber Deposit Terhadap Nilai Uji Kekesatan Pada Landas Pacu. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*. 6(1) :46-58.